This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Die für Technik und Praxis wichtigsten Physikalischen Grössen

in systematischer Darstellung

Von

Olof Linders

Phys 440.16

Harvard College Library

BOUGHT WITH THE INCOME
FROM THE BEQUEST OF
PROF. JOHN FARRAR, LL.D.
AND HIS WIDOW
ELIZA FARRAR
FOR
"BOOKS IN THE DEPARTMENT OF MATHEMATICS,
ASTRONOMY, AND NATURAL PHILOSOPHY"

SCIENCE CENTER LIBRARY

10 –

M 18. –

04

[illegible]

Die für

Technik und Praxis

wichtigsten

Physikalischen Größen

in systematischer Darstellung

sowie

Die algebraische Bezeichnung der Größen
Physikalische Maßsysteme
Nomenklatur der Größen und Maßeinheiten

Von

Olof Linders

Maschinen- und Elektro-Ingenieur

Mit 43 Textfiguren

Leipzig
Verlag von Jäh & Schunke
(Rossberg'sche Buchhandlung)
1904

Phys 440.16

HARVARD COLLEGE
JUL 13 1911
LIBRARY.
Farrar fund

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Spamersche Buchdruckerei, Leipzig.

Vorwort.

Das vorliegende Buch enthält eine Zusammenstellung der in Technik und Praxis am häufigsten vorkommenden physikalischen Größen, die ich mich bemüht habe, so systematisch und übersichtlich wie möglich zu ordnen. Bei der Behandlung des Gegenstandes wurden Größen, welche als allgemein bekannt angesehen werden können, nur in aller Kürze berührt, während die weniger bekannten, zu welchen man wohl in erster Reihe diejenigen zählen muß, die dem elektrischen und magnetischen Gebiete angehören, gründlicher erörtert wurden. Daher haben die elektrischen und magnetischen Größen einen verhältnismäßig großen Teil des Buches in Anspruch genommen. Die Größen sind gruppiert und aufgeführt in der Ordnung, welche sich am besten für ihre successive sprachliche und algebraische Definition eignet: das eine reiht sich kontinuierlich an das andere Nächstverwandte an, so daß die Zusammenstellung der behandelten Größen ein zusammenhängendes Ganze bildet.

In Verbindung mit einer derartigen Darstellung der physikalischen Größen habe ich es für geeignet erachtet, die Frage der algebraischen Bezeichnung der Größen und die der physikalischen Maßsysteme zu behandeln, sowie auch die Nomenklatur der Größen und Maßeinheiten kurz zu berücksichtigen.

In Betreff der algebraischen Bezeichnung der Größen mangelt es gegenwärtig an Gleichförmigkeit und System. Untersucht man die jetzige Literatur, so findet man, daß jeder Verfasser, wenigstens für die meisten Größen, sein eigenes, nach Gutdünken aufgestelltes algebraisches Bezeichnungssystem benutzt. Die Systemlosigkeit in der algebraischen Bezeichnung ist aber nicht nur für die Literatur, sondern auch für die technische Praxis sehr nachteilig, da das Kontrolieren und Vergleichen von Berechnungen dadurch sehr erschwert und zeitraubend wird. Während meiner vieljährigen Tätigkeit als Oberingenieur und Leiter technischer Bureaux hatte ich Gelegenheit zu sehen, wie die jungen Ingenieure und Techniker, die von den verschiedenen Schulen kamen, immer wieder ein anderes Bezeichnungssystem erlernt hatten. Manchmal werden sogar in derselben Schule verschiedene algebraische Bezeichnungen benutzt. Ohne Zweifel würde es von großem Vorteil sein, wenn man sich schließlich einigen könnte, eine systematische und gleichförmige und, wenn irgend möglich, internationale algebraische Bezeichnungsweise einzuführen. Auf dem internationalen Elektrotechniker-Kongresse in Chicago 1893 und bei mehreren anderen Gelegenheiten ist die Bezeichnungsangelegenheit für den *elektrotechnischen* Bedarf behandelt worden. Meiner Ansicht nach kann aber die algebraische Bezeichnungsfrage nur dann eine praktische oder in allgemein-technischer Hinsicht befriedigende Lösung erhalten, wenn sie zuerst im allgemeinen, d. h. unter Berücksichtigung sämtlicher *technophysikalischer* Größen behandelt wird. Vor allen Dingen müssen, wo es sich um Nomenklatur und algebraische Bezeichnung handelt, die elektro- und mechanisch-technischen Größen gleichzeitig in Betracht gezogen werden, denn sonst kommt man sicherlich zu einem einseitigen und für den praktischen Gebrauch wenig anwendbaren Resultat. — Um nach Kräften zur Lösung der algebraischen Bezeichnungsfrage beizutragen, habe ich für die Größen, die im vorliegenden Buche aufgenommen worden sind, als Beispiel Bezeichnungen angewandt, welche nach einem bestimmten, angeführten Prinzip aufgestellt wurden.

Die Frage der sogenannten physikalischen Maßsysteme ist bis jetzt meistens nur Gegenstand philosophischer oder spekulativ-wissenschaftlicher Behandlung gewesen, aber da die Technik unbestreitbar auch das Bedürfnis nach einem physikalischen Maßsystem hat, sollte man auch in technischen Kreisen gehörigen Anteil an diesem Gegenstand nehmen und mitwirken, daß diese Frage eine zweckmäßige Lösung erhalte. Mit Hilfe des in diesem Buche aufgenommenen Stoffes dürfte sich ein jeder ohne Schwierigkeit in die Frage der physikalischen Maßsysteme einarbeiten können.

Die gegenwärtige Nomenklatur der physikalischen Größen läßt, wie allgemein bekannt, verschiedenes zu wünschen übrig: sie ist sehr schwankend und zuweilen in sachlicher und sprachlicher Hinsicht auch mangelhaft. Dieser Übelstand ist aber keineswegs speziell bezeichnend für die naturwissenschaftliche und technische Literatur der deutschen Sprache, sondern man empfindet auch in den anderen Sprachen ähnliche Unannehmlichkeiten. Da es indessen bei vielen physikalischen Größen noch ziemlich große Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich des Inhalts und Umfangs der Begriffe gibt, so würde es nicht angebracht sein, schon jetzt eine durchgreifende Umgestaltung und Systematisierung der hierher gehörenden Nomenklatur vorzunehmen. Deshalb habe ich mich hauptsächlich darauf beschränkt, unter den existierenden Benennungen der Größen diejenigen auszuwählen und anzuwenden, die ich für die geeignetsten hielt, und nur ausnahmsweise neue Ausdrücke gewählt. Die Nomenklatur der Maßeinheiten wurde in einem besonderen Kapitel etwas vollständiger erörtert.

Das Buch ist hauptsächlich für technische Kreise bestimmt, und die Anordnung des Stoffes eine solche, daß das Buch sowohl als Nachschlagewerk benutzt, als auch im Zusammenhang vorteilhaft studiert werden kann. Doch sollte das Buch zugleich einen allgemeineren Beitrag zur Lösung der Frage der algebraischen Bezeichnung der physikalischen Größen, der physikalischen Maßsysteme und der Nomenklatur der physikalischen Größen und Maßeinheiten bilden.

Da die elektrischen und magnetischen Gebiete, besonders in Bezug auf Größen von speziell praktischem Wert, eine ziemlich umfassende Behandlung erfahren haben, dürften Maschinentechniker, die sich mit der Konstruktion elektrischer Maschinen befassen wollen oder auch sonstwie in nähere Berührung mit elektrotechnischen Fragen kommen, aber nicht Zeit finden, die Spezialwerke der Elektrotechnik zu studieren, von einem gründlichen Durchlesen der Artikel über elektrische und magnetische Größen in verschiedener Beziehung praktischen Nutzen haben.

Damit das Buch auch von denjenigen, die weniger weitgehende Kenntnisse in der Physik und Mathematik besitzen, benutzt werden könnte, wurde der Gegenstand sowohl in mathematischer, als auch in anderer Hinsicht so elementar wie möglich behandelt, und wurden kompliziertere philosophische Argumente nach Möglichkeit vermieden; infolgedessen habe ich mich nicht immer streng an die gegenwärtigen rein wissenschaftlichen Anschauungen und Theorien halten können, sondern hier und da etwas einfachere Mittel ergriffen, um den Gegenstand so leicht verständlich wie möglich zu gestalten.

Leipzig, im September 1903.

Olof Linders.

Inhaltsverzeichnis.

I. Kapitel.

Technophysikalische Größen.

Seite
1. Begriff technophysikalischer Größen und Gruppierung dieser Größen 1
2. Nomenklatur und Zusammenstellung der in der Technik am häufigsten vorkommenden physikalischen Größen, sowie Vorschläge zu algebraischer Bezeichnung dieser Größen 2
Namen dieser Größen in deutscher, englischer, französischer und schwedischer Sprache 9

II. Kapitel.

Messung technophysikalischer Größen und Maßeinheiten für solche Messungen.

3. Messungen und Maßsysteme im allgemeinen 28
4. Fundamentale Einheiten oder Grundeinheiten (Grundmaße) und ihre Wahl für verschiedene Maßsysteme 30
5. Abgeleitete Maßeinheiten 32
6. Fundamentale physikalische Zusammensetzung und physikalische Dimension der Maßeinheiten. Nutzen der Dimensionsausdrücke 32

III. Kapitel.

Sprachliche und algebraische Definition der in der Technik am häufigsten vorkommenden physikalischen Größen.

Die in diesem Kapitel vorkommenden Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten haben *Centimeter-Gramm-Sekunde* als Grundmaße 37
7. Das philosophisch-wissenschaftliche oder philosophische physikalische C. G. S.-Maßsystem. Dessen Grundlage und Grundsätze . . 37

A. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten.

8. Länge, Breite, Höhe (Dicke, Tiefe), Fläche, Volumen, Kreishalbmesser, Kreisdurchmesser, Kreisumfang, Kreisbogen, ebener Winkel (in Bogenmaß und in Gradmaß) und räumlicher Winkel 42

B. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten.

Seite
9. Zeit 44
10. Geschwindigkeit 45
11. Geschwindigkeit bei Drehung um eine Achse (Rotationsgeschwindigkeit): 45
  a. Umdrehungen per Zeiteinheit 45
  b. Winkelgeschwindigkeit 46
12. Beschleunigung und Verzögerung im allgemeinen und Winkelbeschleunigung 46
13. Fallbeschleunigung oder Beschleunigung infolge der Schwerkraft 47
14. Gewicht 48
15. Spezifisches Gewicht 50
16. Relatives Gewicht 51
17. Spezifisches Volumen 52
18. Stoff, Materie, Substanz, Masse 52
19. Spezifische Masse oder Dichte 55
20. Relative Dichte 55
21. Schwere und Schwerkraft 55
22. Mechanische Kraft 58
23. Mechanische Arbeit 65
24. Mechanische Leistung oder Mechanischer Effekt 68
25. Mechanische Energie: 70
  a. potentielle (Energie der Lage) 72
  b. kinetische (Energie der Bewegung) 72
26. Trägheitsmoment der Körper oder Massenmoment 81
27. Antrieb der Kraft oder Mechanischer Impuls 82
28. Bewegungsgröße 82
29. Druck, Zug, Spannung 82
30. Spezifischer Druck, Zug, Spannung 83
31. Kraftmoment: 83
  a. biegendes Kraftmoment (Äußeres Biegungsmoment) 83
  b. drehendes „ (Äußeres Drehungsmoment) 83
32. Elastizität und Festigkeit 84
33. Trägheitsmoment der Querschnitte oder Querschnittsmoment: . 91
  a. äquatoriales Querschnittsmoment 91
  b. polares Querschnittsmoment 91
34. Widerstandsmoment der Querschnitte: 91
  a. gegen Biegung (Inneres Biegungsmoment) 92
  b. gegen Drehung (Inneres Drehungsmoment) 92
35. Gravitation 93
36. Gravitationskoeffizient 94
37. Mechanisches Potential und mechanische Potentialdifferenz . . 95

C. Kalorische (Thermische) Größen und ihre Maßeinheiten.

38a. Wärmequellen und Wärmewirkungen in der Natur 100
38b. Wärmemenge 107
39. Temperatur 109

Seite
40. Erwärmung der Körper. Spezifische Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit 110
41. Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit 112
42. Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit 112
43. Wärmeleit(ungs)vermögen 113
44. Wärmestrahlungsvermögen 114
45. Ausdehnung der Körper durch Wärme 115
46. Schmelzwärme 117
47. Verdampfungswärme 118
48. Verbrennungswärme (Heizwert) 119

D. Optische Größen und ihre Maßeinheiten.

49 a. Allgemeines über das Licht 119
49 b. Lichtstärke 124
50. Lichtstrom 126
51. Beleuchtungsstärke 127
52. Spezifische Lichtmenge 128
53. Belichtung 128

E. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten.

54. Elektrostatische Kraft 129
55. Statische Elektrizitätsmenge 130
56. Elektrostatisches Potential 130
57. Elektrostatische Potentialdifferenz 132
58. Elektrostatische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität 133

F. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

59. Magnetische Kraft 135
60. Magnetische Polstärke 136
61. Magnetisches Potential 137
62. Magnetische Potentialdifferenz 137
63. Magnetisches Moment 138
64. Spezifisches magnetisches Moment (Magnetische Intensität) . . 139
65. Magnetisches Feld. Magnetischer Kreis. Magnetischer Querschnitt 139
66. Magnetische Feldstärke 142
67. Magnetismusstärke. Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte 148
68. Magnetische Tragkraft 149

G. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten.

69. Induktion: 153
    a. elektromagnetische 153
    b. magnetoelektrische 173

Seite
70. Elektrische Stromstärke 194
71. Elektromotorische Kraft 197
72. Elektrischer Leitungswiderstand 201
73. Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand 206
74. Relativer elektrischer Leitungswiderstand 206
75. Elektrische Leit(ungs)fähigkeit 207
76. Spezifische elektrische Leit(ungs)fähigkeit 207
77. Relative elektrische Leit(ungs)fähigkeit 207
78. Elektrodynamische Spannung 208
79. Elektrodynamische Kraft 213
80. Elektrische Arbeit. Elektrische Energie 214
81. Elektrische Leistung oder Elektrischer Effekt 215
82. Selbstinduktion und gegenseitige Induktion 217
83. Dynamische Elektrizitätsmenge 222
84. Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität 223
85. Elektrodynamische Dichte 224
86. Wechselstromkreise und die Wirkung der Selbstinduktion und Kapazität darin 225
87. Wärmeerzeugung des elektrischen Stromes 249
88. Temperaturzunahme in einem Leiter infolge elektrischen Stromes 250
89. Elektrochemie 251

H. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

90. Elektromagnete 260
91. Magnetische Kreise 261
92. Magnetismusstärke 262
93. Spezifische Magnetismusstärke oder Magnetische Dichte . . . 264
94. Elektrische Magnetisierung oder Erregung 264
95. Spezifische elektrische Magnetisierung 265
96. Magnetische Aufnahmefähigkeit und spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit 266
97. Berechnung magnetischer Kreise 270
Magnetische Streuung 270
98. Vergleich zwischen magnetischen und elektrischen Kreisen: . . 274
Magnetische Stromstärke 276
Magnetomotorische Kraft 276
Spezifische magnetomotorische Kraft 277
Magnetischer Leitungswiderstand 278
Spezifischer magnetischer Leitungswiderstand 278
Magnetische Leit(ungs)fähigkeit 279
Spezifische magnetische Leit(ungs)fähigkeit 279
Berechnung magnetischer Stromkreise 279
99. Tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen Größen und deren Bestimmungsgleichungen, sowie der Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten in Bezug auf das C. G. S.-Maßsystem 280

IV. Kapitel.

Technophysikalische Maßsysteme.

Seite
100. Nach welchen Grundsätzen sollte ein technophysikalisches Maßsystem aufgestellt werden? 297
101. Welche Maßeinheiten aus dem Metersystem können als Grundmaße für ein technophysikalisches Maßsystem hauptsächlich in Frage kommen? 298

A. Technophysikalisches Maßsystem, zurückgeführt auf *Decimeter-Kilogramm-Sekunde* als Grundmaße.

102. Bezeichnungen und Erkennungszeichen des D. K. S.-Maßsystems, wenn es gleichzeitig mit einem anderen Maßsystem vorkommt 299
103. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten 300
104. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten 300
105. Kalorische Größen und ihre Maßeinheiten 305
106. Optische Größen und ihre Maßeinheiten 305
107. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten 305
108. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten 305
109. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten 319
110. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten 320
111. Tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen Größen und deren Bestimmungsgleichungen, sowie der Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten in Bezug auf das D. K. S.-Maßsystem 328

B. Technophysikalisches Maßsystem, zurückgeführt auf *Centimeter-Kilogramm-Sekunde* als Grundmaße.

112. Bezeichnungen und Erkennungszeichen des C. K. S.-Maßsystems, wenn es gleichzeitig mit einem anderen Maßsystem vorkommt 346
113. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten 346
114. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten 346
115. Kalorische Größen und ihre Maßeinheiten 347
116. Optische Größen und ihre Maßeinheiten 347
117. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten 347
118. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten 347
119. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten 348
120. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten 349
121. Tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen Größen und der Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten in Bezug auf das C. K. S.-Maßsystem 350

C. Vergleich physikalischer Maßsysteme.

Seite
122. Vergleich zwischen den angeführten **D. K. S.**- und **C. K. S.**-Maßsystemen 361
123. Vergleich zwischen verschiedenen denkbaren physikalischen Maßsystemen 362

V. Kapitel.

Nomenklatur der technophysikalischen Maßeinheiten.

124. Benennung der Maßeinheiten in der gegenwärtigen Wissenschaft und Praxis 366
125. Benennung der technischen Maßeinheiten auf linguistischer Grundlage 369

Tabellarisches Verzeichnis der im Buche zur algebraischen Bezeichnung vorgeschlagenen und benutzten Buchstaben 372
Alphabetisches Register 381

I. Kapitel.

Technophysikalische Größen.

1. Begriff technophysikalischer Größen und Gruppierung dieser Größen.

Unter dem Ausdrucke *technophysikalische Größen* werden in vorliegender Arbeit physikalische Größen auf allen Gebieten der Technik zusammengefaßt, wobei jedoch nur die am häufigsten vorkommenden Größen Gegenstand der Behandlung werden können. Weil mehrere geometrische Größen in die physikalischen Begriffe und Definitionen eingehen, werden auch die wichtigsten geometrischen Größen aufgenommen.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen teilen wir die betreffenden Größen in folgende Gruppen ein:

A. Geometrische Größen.
B. Mechanische Größen.
C. Kalorische (thermische) Größen.
D. Optische Größen.
E. Elektrostatische Größen.
F. Magnetische Größen.
G. Elektrodynamische Größen.
H. Elektromagnetische Größen.

Diese Gruppierung unterscheidet sich bezüglich der elektrotechnischen Größen von der gebräuchlichen, eignet sich aber besser für unsere Zwecke. — Da die Akustik hauptsächlich ins Gebiet der theoretischen Physik fällt, kommt sie in obiger Gruppierung nicht vor.

2. Nomenklatur und Zusammenstellung der in der Technik am häufigsten vorkommenden physikalischen Größen, sowie Vorschläge zur algebraischen Bezeichnung dieser Größen.

In der Nomenklatur der Größen waltet, insbesondere in Bezug auf die elektrischen Größen, in der Literatur oft eine gewisse Unbestimmtheit, ja manchmal sogar eine auffällige Verworrenheit; ein Umstand, der wahrscheinlich in vielen Fällen infolge von Verwechselung und mangelhafter sprachlicher oder algebraischer Definition, ungeeigneter Übersetzung u. dgl. hervorgerufen wird. Für eine und dieselbe Größe begegnet man in einer Sprache nicht selten mehreren, sehr verschiedenen Ausdrücken, wodurch viele Unannehmlichkeiten für den, der mit dem Gegenstand weniger vertraut ist, verursacht werden. Man hat wohl auch vorgeschlagen, internationale Ausdrücke für die Größen einzuführen, was jedoch weniger empfehlenswert sein dürfte. Es ist zweifelsohne am geeignetsten, daß die Benennung der Größen ein möglichst nationales Gepräge erhalte, so daß selbst ein Nicht-Techniker aus der Benennung allein ersehen kann, wenigstens ungefähr, was man mit einem gegebenen Ausdrucke bezweckt.

Anders liegt freilich die Sache bei der algebraischen Bezeichnung der Größen und bei der Benennung der Maßeinheiten, die zu der numerischen Angabe der Größen erforderlich sind; in diesem Falle wäre eine internationale Gleichförmigkeit sehr erwünscht, und dürfte eine solche auch leicht zu erzielen sein, wenn die verschiedenen Nationen mit einigermaßen gutem Willen dazu beitragen wollten. Ein jeder, der sich etwas gründlicher mit der technischen Literatur verschiedener Sprachen beschäftigt, wird ohne Zweifel erfahren haben, wie viel Mühe und Zeitverlust die fortwährend vorkommende Ungleichförmigkeit in den algebraischen Bezeichnungen verursachen kann. Nicht einmal in einem und demselben Lande findet man Gleichförmigkeit in den algebraischen Bezeichnungen. Es dürfte ohne weiteres einleuchtend sein, daß viel Zeit und Arbeit erspart werden würde, wenn es gelänge, ein allgemeines und, wenn irgend möglich, internationales algebraisches Bezeichnungssystem einzuführen, das schon während der Studienzeit erlernt und dem Gedächtnis eingeprägt werden könnte. Durch die Anwendung einer systematischen Bezeichnungsweise konventioneller Natur würde man bei einem algebraischen Ausdrucke auf den ersten Blick erkennen einesteils die mit dem betreffenden Ausdruck dargestellte Größe und anderenteils die Bedeutung sämtlicher übrigen in dem Ausdruck aufgenommenen Faktoren. Durch die Reichhaltigkeit und Mannigfaltigkeit der physikalischen Größen wird die Aufstellung eines vollständigen und zugleich einfachen Bezeichnungssystems wesentlich erschwert, denn die Bezeichnungen müssen nicht nur einfach, sondern auch hinsichtlich des Aussehens verschieden sein; und infolgedessen findet man bei reiflicher Überlegung bald, daß die Zeichen *eines* Alphabets zu dem fraglichen Zwecke bei weitem nicht ausreichen, sondern daß man Zeichen aus mehreren Alphabeten in Anwendung bringen muß. Eine andere Lösung würde wohl auch in der Konstruktion von Spezialzeichen zu finden sein. Solche Zeichen würden vielleicht zu viel Ähnlichkeit mit der chinesischen Wortschrift erhalten, nicht besonders bequem zu erlernen sein und außerdem noch verschiedene andere Unannehmlichkeiten besitzen.

In der vorliegenden Arbeit werden als algebraische Bezeichnung für die geometrischen und technophysikalischen Größen Buchstaben aus dem lateinischen, deutschen, russischen und griechischen Alphabet vorschlagsweise zur Anwendung gebracht, und zwar nach folgender Darlegung:

A. Geometrische Größen werden mit großen und kleinen lateinischen Buchstaben bezeichnet, mit Ausnahme von Winkeln. Ebene Winkel werden mit α, wenn sie im Bogenmaß, und mit β, γ oder δ, wenn sie in Graden angegeben werden sollen, bezeichnet, und räumliche Winkel werden mit σ bezeichnet. Diese Winkelbezeichnungen werden auch auf dem technophysikalischen Gebiet für Winkel im allgemeinen angewandt, wogegen in besonderen Fällen andere kleine griechische Buchstaben zur Anwendung kommen.

B. Mechanische Größen werden mit großen und kleinen lateinischen Buchstaben bezeichnet. Hierzu gehörende Koeffizienten, sowie auch damit Vergleichbares werden mit dem kleinen lateinischen k bezeichnet, welches dann untenan mit besonderem Erkennungsindex, bestehend aus großen und kleinen lateinischen Buchstaben, versehen wird, z. B. k_B, k_a, k_v.

C. Kalorische (thermische) Größen werden mit großen deutschen Buchstaben und hierauf bezügliche Koeffizienten werden mit dem kleinen lateinischen k mit großen und kleinen deutschen Buchstaben als Erkennungsindices, z. B. $k_{\mathfrak{B}}$, $k_{\mathfrak{a}}$, $k_{\mathfrak{v}}$, bezeichnet.

D. Optische Größen werden nach demselben Grundsatze bezeichnet wie die kalorischen Größen, und die optischen Koeffizienten nach demselben Grundsatze wie die kalorischen Koeffizienten. — Obwohl die Akustik in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt wird, sei es doch an dieser Stelle bemerkt, daß Größen und Koeffizienten, welche auf die akustischen Erscheinungen Bezug haben, nach demselben Grundsatze bezeichnet werden können wie die kalorischen und optischen Größen und Koeffizienten.

E. Elektrostatische Größen werden mit großen russischen Buchstaben bezeichnet. Hierauf bezügliche Koeffizienten werden mit zwei kleinen deutschen $\mathfrak{kk}$, die mit kleinen deutschen Buchstaben als Erkennungsindices versehen werden, z. B. $\mathfrak{kk}_{\mathfrak{e}}$, $\mathfrak{kk}_{\mathfrak{r}}$, bezeichnet.

F. Magnetische Größen werden, wie die elektrostatischen, mit großen russischen Buchstaben bezeichnet, wogegen die hierauf bezügl. Koeffizienten mit dem kleinen lateinischen k mit kleinen griechischen Buchstaben als Erkennungsindices bezeichnet werden, z. B. k_α, k_β.

G. Elektrodynamische Größen werden mit großen und kleinen lateinischen Buchstaben bezeichnet; die hierauf bezüglichen Koeffizienten werden mit dem kleinen deutschen $\mathfrak{k}$ mit kleinen lateinischen Buchstaben als Erkennungsindex bezeichnet, z. B. $\mathfrak{k}_a$, $\mathfrak{k}_c$.

H. Elektromagnetische Größen werden mit großen deutschen Buchstaben bezeichnet; hierauf bezügl. Koeffizienten werden mit dem kleinen lateinischen k mit griechischen Indices bezeichnet, z. B. k_λ, k_μ.

J. Chemische Größen, welche mit den vorerwähnten technophysikalischen Größen mehr oder weniger in Verbindung kommen, werden mit großen lateinischen Buchstaben bezeichnet, die als Erkennungsindex entweder große lateinische Buchstaben oder event. das kleine lateinische **y** erhalten, z. B. F_K, W_K bezw. F_y, W_y. Chemische Koeffizienten werden mit zwei kleinen lateinischen kk mit griechischen Buchstabenindices bezeichnet, z. B. kk_α, kk_β.

Um die in einem algebraischen Ausdrucke oder dergl. vorkommenden Koeffizienten sofort erkennen zu können, empfiehlt es sich, das kleine lateinische k und das kleine deutsche $\mathfrak{k}$ ausschließlich zu Koeffizientenbezeichnungen anzuwenden.

Wenn eine und dieselbe Größe mehr als einmal (unter verschiedenen Verhältnissen, mit verschiedenem numerischem Wert) in demselben algebraischen Ausdrucke oder sonstwo erscheint, so unterscheide man ihre Bezeichnung durch unten (nie oben!) stehende Ziffer- oder Buchstabenindices ganz nach Belieben, z. B. l_1, l_2, l_a.

Die lateinischen Buchstaben Xx, Yy und Zz werden zur Bezeichnung geometrischer und physikalischer Größen nicht angewandt, ausgenommen als Bezeichnungsindices ($\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$ und $\mathbf{z}$) an anderen Buchstaben bei vermehrtem Bedarf nach Bezeichnungszeichen, sondern sie werden nach wie vor benutzt zur Bezeichnung des Gesuchten bei gewöhnlichen oder allgemeinen algebraischen Rechenaufgaben, zur Bezeichnung der Achsen in den Koordinatensystemen und hiermit Verwandtem.

Das kleine lateinische $\mathbf{e}$ wird reserviert, um, wie üblich, die Basis der natürlichen Logarithmen zu bezeichnen. Es mag außerdem als Erkennungsindex benutzt werden.

Das griechische η in Verbindung mit einem kleinen lateinischen Buchstaben wird benutzt, um Wirkungsgrad (Güteverhältnis) zu bezeichnen, z. B. $\eta_{\mathbf{c}}$ und $\eta_{\mathbf{e}}$.

Die Bezeichnung der Anzahl bei konkreten Gegenständen (also nicht die Bezeichnung numerischer Werte bei geometrischen und physikalischen Größen oder einer Anzahl geometrischer oder physikalischer Einheiten) läßt sich im allgemeinen durch das große lateinische $\mathbf{N}$ und in Spezialfällen durch dasselbe $\mathbf{N}$ mit kleinen lateinischen Buchstaben als Erkennungsindex vorteilhaft ausführen, z. B. $\mathbf{N}_a$, $\mathbf{N}_b$, $\mathbf{N}_c$, weshalb es sich empfiehlt, das $\mathbf{N}$ nur zu diesem Zwecke zu benutzen.

Bedient man sich in vorgeschlagener Weise der genannten vier Alphabete, so kommt man damit, wie wir gleich sehen werden, recht weit. Die Anzahl der Bezeichnungszeichen kann aber erforderlichenfalls durch Anwendung besonderer Erkennungsindices, wozu das kleine lateinische $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$ und $\mathbf{z}$, wie oben schon erwähnt, geeignet sind, beträchtlich vermehrt werden (vergl. Tab. XI). Dabei sollte man zunächst das $\mathbf{x}$ für mechanische, magnetische und optische Größen benutzen, das $\mathbf{y}$ für kalorische und elektrostatische Größen und das $\mathbf{z}$ für elektrodynamische und akustische Größen. Durch eine solche Zeichenvermehrung würde das im vorstehenden dargelegte Bezeichnungssystem nicht verändert werden.

Es versteht sich von selbst, daß man bei der Wahl der Bezeichnungsbuchstaben aus verschiedenen Alphabeten, worin auch ähnliche *Druckschrift-Buchstaben* vorkommen, ein bestimmtes Zeichen (Buchstabenform) nur einmal zur Anwendung bringen sollte. Wo ähnliche Buchstabenformen bestehen, verfährt man am besten so, daß alle solche griechische und russische Buchstabenformen, die auch in der lateinischen *Druckschrift* enthalten sind, nicht benutzt werden. — Eine Ähnlichkeit in den *Schreibschrift-Buchstaben* ist dagegen fast ohne Bedeutung, denn, wenn man eine Bezeichnung niederschreibt, weiß man wohl immer, mit welcher Größe man zu tun hat, und man lernt bald den nötigen Unterschied zu machen.

Um im Druck mit lateinischen Typen die lateinischen algebraischen Bezeichnungsbuchstaben von den Textbuchstaben leicht unterscheiden zu können, sollten diese Bezeichnungsbuchstaben mit halbfetten Kursivschrift-Typen oder mit anderen lateinischen Typen gesetzt werden, die sich genügend von den angewandten Texttypen unterscheiden.

Alle Erkennungsindices bei den algebraischen Bezeichnungsbuchstaben sollten stets in feiner, magerer, aber doch deutlicher Schrift ausgeführt werden.

Die vorerwähnten, für algebraische Bezeichnung in Vorschlag gebrachten Alphabete sind in Tabelle I aufgeführt.

Daß das russische Alphabet auch zur Anwendung empfohlen wird, findet vielleicht mancher weniger geeignet. Vom praktischen Gesichtspunkte aus betrachtet und besonders für den fraglichen Zweck dürfte jedoch heutzutage das russische Alphabet ebensogut am Platze sein wie das griechische; außerdem kann man, wie wir späterhin sehen werden, alle beide gut gebrauchen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit geben wir in Tabelle II eine Zusammenstellung der am häufigsten vorkommenden technophysikalischen Größen nebst den wichtigsten hierauf bezüglichen Koeffizienten, sowie der entsprechenden englischen, französischen und schwedischen Ausdrücke. Außerdem enthält die Tabelle die algebraischen Bezeichnungen der Größen in Übereinstimmung mit der schon angeführten Methode und schließlich Hinweisungsnummern auf die Artikel, welche die betreffenden Größen behandeln und definieren. Unter den vielen vorkommenden Ausdrücken oder Benennungen einer und derselben Größe haben wir uns bemüht, die Benennung, welche in der betreffenden Sprache die Merkmale der Größe besonders hervorhebt, in der Tabelle aufzuführen. Die fremdsprachlichen Ausdrücke sind aufgenommen worden, hauptsächlich um denjenigen zu dienen, welche sich mit dem Gegenstand in fremden Sprachen beschäftigen wollen, zumal da die technophysikalischen Ausdrücke nicht immer in den Wörterbüchern zu finden sind. Außerdem dürfte es auch in mehreren anderen Hinsichten von Nutzen sein, eine systematische Zusammenstellung der wichtigsten technophysikalischen Ausdrücke zur Hand zu haben.

Tabelle I.

Deutsches Alphabet		Kursivschrift	Lateinische Schreibschrift	Russisches Alphabet			Griechisches Alphabet	
Druckschrift	Schreibschrift			Druckschrift	Schreibschrift	Benennung	Schrift	Benennung
A a	A a	*A a*	*A a*	А а	*А а*	a	Α α	alpha
B b	B b	*B b*	*B b*	Б б	*Б б*	be	Β β	beta
C c	C c	*C c*	*C c*	В в	*В в*	we	Γ γ	gamma
D d	D d	*D d*	*D d*	Г г	*Г г*	ge	Δ δ	delta
E e	E e	*E e*	*E e*	Д д	*Д д*	de	Ε ε	epsîlon
F f	F f	*F f*	*F f*	Е е	*Е е*	je	Ζ ζ	zeta
G g	G g	*G g*	*G g*	Ж ж	*Ж ж*	sche	Η η	eta
H h	H h	*H h*	*H h*	З з	*З з*	se	Θ ϑ	theta
I i	I i	*I i*	*I i*	И и	*И и*	ische	Ι ι	jota
J j	J j	*J j*	*J j*	Й й	*Й й*	ische skrátkoj	Κ κ	kappa
K k	K k	*K k*	*K k*	І і	*І і*	i	Λ λ	lambda
L l	L l	*L l*	*L l*	К к	*К к*	ka	Μ μ	my
M m	M m	*M m*	*M m*	Л л	*Л л*	ell	Ν ν	ny
N n	N n	*N n*	*N n*	М м	*М м*	emm	Ξ ξ	xi
O o	O o	*O o*	*O o*	Н н	*Н н*	enn	Ο ο	omîkron
P p	P p	*P p*	*P p*	О о	*О о*	o	Π π	pi
Q q	Q q	*Q q*	*Q q*	П п	*П п*	pe	Ρ ρ	rho

Deutsches Alphabet		Kursivschrift	Lateinische Schreibschrift	Russisches Alphabet			Griechisches Alphabet	
Druckschrift	Schreibschrift			Druckschrift	Schreibschrift	Benennung	Schrift	Benennung
R r	R r	*R r*	R r	Р р	Р р	err	Σ σ, ς	sigma
S ſ s	S ſ s	*S s*	S s	С с	С с	ess	Τ τ	tau
T t	T t	*T t*	T t	Т т	Т т	te	Υ υ	ypsîlon
U u	U u	*U u*	U u	У у	У у	u	Φ φ	phi
V v	V v	*V v*	V v	Ф ф	Ф ф	eff	Χ χ	chi
W w	W w	*W w*	W w	Х х	Х х	cha	Ψ ψ	psi
X x	X x	*X x*	X x	Ц ц	Ц ц	ze = tse	Ω ω	omega
Y y	Y y	*Y y*	Y y	Ч ч	Ч ч	tsche		
Z z	Z z	*Z z*	Z z	Ш ш	Ш ш	scha		
				Щ щ	Щ щ	schtscha		
				Ъ ъ	Ъ ъ	jerr		
				Ы ы	Ы ы	jerií		
				Ь ь	Ь ь	jerj		
				Ѣ ѣ	Ѣ ѣ	jatj		
				Э э	Э э	e		
				Ю ю	Ю ю	ju		
				Я я	Я я	ja		
				Ѳ ѳ	Ѳ ѳ	fitá		

Tabelle II.

Technophysikalische Größen.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
A. Geometrische Größen:					
Länge	Length	Longueur	Längd	l	8^a
Breite	Breadth	Largeur	Bredd	b	8^b
Höhe	Height	Hauteur	Höjd	h	8^b
Fläche	Surface or Area	Surface	Yta	S	8^c
Volumen	Volume	Volume	Volym	V	8^d
Kreishalbmesser	Radius	Rayon	Radie	r	8^e
Kreisdurchmesser	Diameter	Diamètre	Diameter	d	8^f
Kreisumfang	Circumference	Circonférence	Omkrets	o	8^g
Bogen	Arc	Arc	Båge	s	8^h
Ebener Winkel	Plane angle	Angle plane	Plan vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	8^i
Räumlicher Winkel	Solid angle	Angle solide	Solid vinkel	σ	8^k

B. Mechanische Größen:

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Zeit	Time	Temps	Tid	t	9
Geschwindigkeit	Velocity *or* speed	Vitesse	Hastighet	v	10
Drehungsgeschwindigkeit:	Turning speed *or* speed of rotation:	Vitesse tournante *ou* vitesse de rotation:	Rotationshastighet:		11
a. Umdrehungen per Zeiteinheit	a. Revolutions per unit of time	a. Tours par unité de temps	a. Hvarf per tidsenhet	n	11
b. Winkelgeschwindigkeit	b. Angular velocity	b. Vitesse angulaire	b. Vinkelhastighet	w	11
Beschleunigung	Acceleration	Accélération	Acceleration	a	12
Verzögerung	Retardation	Retardation	Retardation		
Beschleunigung infolge der Schwerkraft	Acceleration due to force of gravity	Accélération due à la pesanteur	Tyngdkraftens acceleration	g	13
Gewicht	Weight	Poids	Vikt	G	14
Spezifisches Gewicht	Specific weight	Poids spécifique *ou* poids uni-volumique	Specifik vikt	k_G	15
Relatives Gewicht	Relative weight	Poids relatif	Relativ vikt	k_s	16
Spezifisches Volumen	Specific volume	Volume spécifique *ou* volume uni-pondéral	Specifik volym	k_V	17

Masse (Stoffmenge)	Mass (Amount of matter)	Masse (Quantité de matière)	Massa (Materiemängd)	$\boldsymbol{M}$	18
Stoff (Materie) Substanz	Matter Substance	Matière Substance	Materia Substans	—	18
Spezifische Masse Dichte (Massen-)	Specific mass Density (of matter)	Masse spécifique *ou* masse uni-volumique Densité (massique)	Specifik massa Täthet (Mass-)	$\boldsymbol{k}_{M}$	19
Relative Dichte	Relative density	Densité relative	Relativ täthet	$\boldsymbol{k}_{m}$	20
Schwere	Gravity (Terrestrial Gravitation)	Gravité	Tyngd	$\boldsymbol{U}$	21
Schwerkraft	Force of gravity	Pesanteur	Tyngdkraft	$\boldsymbol{U}_{F}$	21
Schwerpunkt	Centre of gravity	Centre de gravité	Tyngdpunkt	—	—
Mechanische Kraft	Mechanical force	Force mécanique	Mekanisk kraft	$\boldsymbol{F}_{m}$ ev. $\boldsymbol{F}$*)	22
Mechanischer Widerstand	Mechanical Resistance	Résistance mécanique	Mekaniskt motstånd	$\boldsymbol{F}_{m}$ bzw. $\boldsymbol{F}_{m.r}$ event. $\boldsymbol{F}$ bezw. $\boldsymbol{F}_{r}$	22
Mechanische Arbeit	Mechanical work	Travail mécanique	Mekaniskt arbete	$\boldsymbol{W}_{m}$ ev. $\boldsymbol{W}$*)	23
Mechanische Leistung (Mechanischer Effekt)	Mechanical power (Mechanical effect)	Puissance mécanique (Effet mécanique)	Mekanisk effekt	$\boldsymbol{P}_{m}$ ev. $\boldsymbol{P}$*)	24
Mechanische Energie:	Mechanical energy:	Énergie mécanique:	Mekanisk energi:	$\boldsymbol{K}$	25
a. potentielle	a. potential	a. potentielle	a. potentiell	$\boldsymbol{K}_{p}$	25
b. kinetische	b. kinetic (actual)	b. cinétique (actuelle)	b. kinetisk	$\boldsymbol{K}_{k}$	25
Wirkungsgrad	Efficiency	Rendement	Verkningsgrad	η c	25

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Trägheitsmoment der Körper (Massenmoment)	Moment of inertia of bodies	Moment d'inertie d'un corps	Tröghetsmoment hos kroppar (Massmoment)	O	26
Antrieb der Kraft	Mechanical impulse	Impulsion mécanique	Mekanisk impuls	I	27
Bewegungsgröße	Quantity of motion	Quantité de mouvement	Rörelsekvantitet	B	28
Druck Zug Spannung	Pressure Traction Tension	Pression Traction Tension	Tryck Dragning Spänning	D_x	29
Spezifischer Druck	Specific pressure	Pression spécifique *ou* pression uni-superficielle	Specifikt tryck	k_{Dx}	30
Kraftmoment:	Moment of force:	Moment d'une force:	Kraftmoment:	H	31
a. biegendes	**a.** bending	**a.** fléchissant	**a.** böjande	H_b	31
b. drehendes	**b.** turning	**b.** tournant	**b.** vridande	H_d	31
Spezifische Elastizität (Elastizitäts-Koeffizient)	Specific elasticity (Coefficient of elasticity)	Élasticité spécifique (Coefficient d'élasticité)	Specifik elasticitet (Elasticitets-koefficient)	k_e	32
Spezifische Inelastizität (Elastizitäts-Modul)	Specific inelasticity (Modulus of elasticity)	Inélasticité spécifique (Module d'élasticité)	Specifik inelasticitet (Elasticitets-modul)	k_i	32

Festigkeitskoeffizienten:	Coefficients of strength of materials:	Coefficients de résistance des matériaux:	Hållfasthetskoefficienter:		
a. Bruch-Koeffizient (Festigkeits-Modul)	**a.** Coefficient of rupture (Modulus of rupture or tenacity)	**a.** Coefficient de rupture (Charge spécifique de rupture ou tenacité)	**a.** Brott-koefficient (Brott-modul)	k_b	32
b. Tragfähigkeits-Koeffizient (Trag-Modul)	**b.** Coefficient of bearing-capacity (Modulus of bearing-capacity)	**b.** Coefficient de capacité portative (Charge spécifique limite d'élasticité)	**b.** Bärighets-koefficient (Bärighets-modul)	k_t	32
c. Formbeständigkeits-Koeffizient (Zulässige Beanspruchung)	**c.** Coefficient of rigidity or permanence of form (Modulus of rigidity)	**c.** Coefficient de rigidité ou permanence de forme (Charge spécifique pratique ou de sécurité)	**c.** Formbeståndskoefficient (Tillåten belastning)	k_f	32
Trägheitsmoment der Querschnitte (Querschnittsmoment):	Moment of inertia of cross sections:	Moment d'inertie de sections transversales:	Tröghetsmoment vid tvärsektioner (Tvärsnittsmoment):	J	33
a. äquatoriales	**a.** equatorial	**a.** équatorial	**a.** det ekvatoriala	J_e	33
b. polares	**b.** polar	**b.** polaire	**b.** det polara	J_p	33
Widerstandsmoment der Querschnitte:	Moment of resistance of cross sections:	Moment de résistance de sections transversales:	Motståndsmoment vid tvärsektioner:	T	34
a. gegen Biegung	**a.** against flexure	**a.** à l'égard de flexion	**a.** mot böjning	T_b	34
b. gegen Drehung	**b.** against torsion	**b.** à l'égard de torsion	**b.** mot vridning	T_d	34

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Gravitation	Gravitation	Gravitation	Gravitation	U_x	35
Gravitationskoeffizient	Coefficient of gravitation	Coefficient de gravitation	Gravitationskoefficient	k_{vx}	36
Mechanisches Potential	Mechanical potential	Potentiel mécanique	Mekanisk potential	V_x	37
		C. Kalorische Größen:			
Kalorische Kraft	Caloric force	Force calorique	Kalorisk kraft	$\mathfrak{F}$	45
Wärmemenge	Quantity of heat	Quantité de chaleur	Värmemängd	$\mathfrak{W}$	38^b
Kalorische Energie	Caloric energy	Énergie calorique	Kalorisk energi		
Kalorischer Effekt	Caloric power	Puissance calorique	Kalorisk effekt	$\mathfrak{P}$	—
Temperatur	Temperature	Température	Temperatur	$\mathfrak{T}$	39
Wärmeaufnahmefähigkeit (Wärmekapazität):	Caloric receptivity (Capacity for heat *or* heat-capacity):	Réceptivité calorique (Capacité pour la chaleur):	Värmeupptagningsförmåga (Värmekapacitet):		
a. spezifische, per Grad und Gewichtseinheit	**a.** specific, per degree and unit of weight	**a.** uni-thermométrique et uni-pondéral (chaleur spécifique)	**a.** specifik, per grad och viktenhet	k_p	40
b. spezifische, per Grad und Volumeneinheit	**b.** specific, per degree and unit of volume	**b.** uni-thermométrique et uni-volumique	**b.** specifik, per grad och volymenhet	k_v	42

Relative Wärmeaufnahmefähigkeit	Relative caloric receptivity	Réceptivité calorique relative	Relativ värmeupptagningsförmåga	$k_{\mathfrak{r}}$	41
Wärmeleit(ungs)koeffizient	Coefficient of conduction of heat	Coefficient de conduction de chaleur	Värmeledningskoefficient	$k_{\mathfrak{c}}$	43
Wärmestrahlungskoeffizient	Coefficient of radiation of heat	Coefficient de radiation de chaleur	Värmestrålningskoefficient	$k_{\mathfrak{s}}$	44
Ausdehnungskoeffizient	Coefficient of expansion	Coefficient de dilatation	Utvidgningskoefficient	$k_{\mathfrak{d}}$	45
Spezifische Schmelzwärme	Specific heat of fusion	Chaleur uni-pondéral de fusion	Specifikt smältningsvärme	$k_{\mathfrak{f}}$	46
Spezifische Verdampfungswärme	Specific heat of vaporisation	Chaleur uni-pondéral de vaporisation	Specifikt ångbildningsvärme	$k_{\mathfrak{g}}$	47
Spezifische Verbrennungswärme (Heizwert)	Specific heat of combustion (Calorific power)	Chaleur uni-pondéral de combustion (Pouvoir calorifique)	Specifikt förbränningsvärme (Brännvärde)	$k_{\mathfrak{h}}$	48

D. Optische Größen:

Optische Kraft	Optical force	Force optique	Optisk kraft	$\mathfrak{F}_x$	49ª
Optische Energie	Optical energy	Énergie optique	Optisk energi	$\mathfrak{W}_x$	49ª
Optischer Effekt	Optical power	Puissance optique	Optisk effekt	$\mathfrak{P}_x$	49ª
Lichtstärke	Strength of light	Intensité lumineuse	Ljusstyrka	$\mathfrak{J}$	49ᵇ
Lichtstrom	Luminous flux	Flux lumineux	Ljusström	$\mathfrak{S}$	50
Beleuchtungsstärke	Strength of illumination	Éclairement	Belysningsstyrka	$\mathfrak{B}$	51
Lichtmenge, spez.	Quantity, spec., of light	Éclairage	Ljusmängd, spec.	$\mathfrak{M}$	52
Belichtung	Optical exposure	Exposition optique	Optisk exponering	$\mathfrak{E}$	53

Deutsches Alphabet		Kursivschrift	Lateinische Schreibschrift	Russisches Alphabet			Griechisches Alphabet	
Druckschrift	Schreibschrift			Druckschrift	Schreibschrift	Benennung	Schrift	Benennung
R r	R r	*R r*	R r	Р р	Р р	err	Σ σ, ς	sigma
S ſ s	S ſ s	*S s*	S s	С с	С с	ess	Τ τ	tau
T t	T t	*T t*	T t	Т т	Т т	te	Υ υ	ypsîlon
U u	U u	*U u*	U u	У у	У у	u	Φ φ	phi
V v	V v	*V v*	V v	Ф ф	Ф ф	eff	Χ χ	chi
W w	W w	*W w*	W w	Х х	Х х	cha	Ψ ψ	psi
X x	X x	*X x*	X x	Ц ц	Ц ц	ze = tse	Ω ω	omega
Y y	Y y	*Y y*	Y y	Ч ч	Ч ч	tsche		
Z z	Z z	*Z z*	Z z	Ш ш	Ш ш	scha		
				Щ щ	Щ щ	schtscha		
				Ъ ъ	Ъ ъ	jerr		
				Ы ы	Ы ы	jerií		
				Ь ь	Ь ь	jerj		
				Ѣ ѣ	Ѣ ѣ	jatj		
				Э э	Э э	e		
				Ю ю	Ю ю	ju		
				Я я	Я я	ja		
				Ѳ ѳ	Ѳ ѳ	fitá		

Tabelle II.

Technophysikalische Größen.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
A. Geometrische Größen:					
Länge	Length	Longueur	Längd	l	8^a
Breite	Breadth	Largeur	Bredd	b	8^b
Höhe	Height	Hauteur	Höjd	h	8^b
Fläche	Surface or Area	Surface	Yta	S	8^c
Volumen	Volume	Volume	Volym	V	8^d
Kreishalbmesser	Radius	Rayon	Radie	r	8^e
Kreisdurchmesser	Diameter	Diamètre	Diameter	d	8^f
Kreisumfang	Circumference	Circonférence	Omkrets	o	8^g
Bogen	Arc	Arc	Båge	s	8^h
Ebener Winkel	Plane angle	Angle plane	Plan vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	8^i
Räumlicher Winkel	Solid angle	Angle solide	Solid vinkel	σ	8^k

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Metallomagnetischer Querschnitt	Metallomagnetic cross section	Section transversale metallomagnétique	Metallomagnetisk tvärsektion	$\boldsymbol{S}$	65
Äquipolarer magnetischer Querschnitt	Equipolar magnetic cross section	Section transversale magnétique équipolaire	Ekvipolar magnetisk tvärsektion	$\boldsymbol{S}$	65
Inäquipolarer magnetischer Querschnitt	Inequipolar magnetic cross section	Section transversale magnétique inéquipolaire	Inekvipolar magnetisk tvärsektion	$\boldsymbol{S}$	65
Magnetische Feldstärke:	Strength of magnetic field:	Intensité de champ magnétique:	Magnetisk fältstyrka:		66
a. punktuelle	a. punctual	a. en un point	a. punktuell	Θ_P	66
b. per Flächeneinheit	b. per unit of area	b. uni-superficielle	b. per ytenhet	Θ_S	66
c. gesamte, in einer beliebigen Fläche	c. areal (*or* total, in any one area)	c. superficielle	c. total, i en godtycklig yta	Φ	66
Stärke des Magnetismus *oder* Magnetismusstärke (in einem Querschnitt)	Strength of magnetism	Intensité de magnétisme (dans une section magnétique)	Magnetismstyrka	Φ	67

Spezifische Stärke des Magnetismus	Specific strength of magnetism	Intensité spécifique de magnétisme *ou* intensité uni-superficielle de magnétisme *ou*	Specifik magnetismstyrka	Θ	67
oder	*or*		*eller*		
Magnetische Dichte	Magnetic density	Densité magnétique	Magnetisk täthet		
Magnetische Tragkraft	Portative force (Lifting power) of magnets	Force portante des aimants	Magnetisk bärkraft	Ю	68

G. Elektrodynamische Größen:

Induktion:	Induction:	Induction:	Induktion:	—	
a. elektroelektrische	a. electroelectric	a. électroélectrique	a. elektroelektrisk	—	55
b. magnetomagnetische	b. magnetomagnetic	b. magnétomagnétique	b. magnetomagnetisk	—	65
c. elektromagnetische	c. electromagnetic	c. électromagnétique	c. elektromagnetisk	—	69
d. magnetoelektrische	d. magnetoelectric	d. magnétoélectrique	d. magnetoelektrisk	—	69
Gleichstrom	Direct current	Courant continu	Direkt eller likriktad	—	69
Wechselstrom	Alternating current	Courant alternatif	Växelström [ström	—	69
Elektrische Stromstärke	Strength of electric current	Intensité de courant électrique	Elektrisk strömstyrka	*A*	70
Elektromotorische Kraft (E. M. K.)	Electromotive force (E. M. F.)	Force électromotrice (f. é. m.)	Elektromotorisk kraft (e. m. k.)	*E*	71
Elektrischer Leitungswiderstand	Electric resistance	Résistance électrique	Elektriskt ledningsmotstånd	*R*	72

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand	Specific electric resistance (Resistivity)	Résistance électrique spécifique (Résistivité)	Specifikt elektriskt ledningsmotstånd	$\mathfrak{l}_r$	73
Relativer dito	Relative ditto	Dito relative	Relativt dito	$\mathfrak{l}_u$	74
Elektrische Leit(ungs)-fähigkeit	Electric conductivity (Conductance)	Conductivité électrique (Conductance)	Elektrisk ledningsförmåga	L	75
Spezifische elektrische Leit(ungs)fähigkeit	Specific electric conductivity (Conductivity)	Conductivité électrique spécifique (Conductivité)	Specifik elektrisk ledningsförmåga	$\mathfrak{l}_o$	76
Relative dito	Relative ditto	Dito relative	Relativ dito	$\mathfrak{l}_v$	77
Elektrodynamischer Druck (Spannung) [Potentialdifferenz]	Electrodynamic pressure (tension) [Difference of potential]	Pression (tension) électrodynamique [Différence de potentiel]	Elektrodynamiskt tryck (spänning) [Potentialdifferens]	D	78
Elektrodynamische Kraft	Electrodynamical force	Force électrodynamique	Elektrodynamisk kraft	F_e ev. F_z*)	79
Elektrische Arbeit Elektrische Energie	Electrical work Electrical energy	Travail électrique Énergie électrique	Elektriskt arbete Elektrisk energi	W_e ev. W_z*)	80
Elektrische Leistung	Electrical power	Puissance électrique	Elektrisk effekt	P_e ev. P_z*)	81

Wirkungsgrad:	Efficiency:	Rendement:	Verkningsgrad:		
a. kommerzieller, mechan.	a. commercial, mechanical	a. industrial *ou* commercial	a. kommersiell, mekanisk	η_c	81
b. elektrischer	b. electrical	b. électrique	b. elektrisk	η_e	81
Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion	Electromotive force of selfinduction	Force électromotrice de self-(*ou* auto-)induction	Själfinduktionens elektromotoriska kraft	E_s	82
Extrastrom	Extra-current	Extra-courant	Extra-ström	A	82
Selbstinduktions-Koeffizient	Coefficient of self-induction	Coefficient de self-(*ou* auto-) induction	Själfinduktionskoefficient	$\mathfrak{l}_s$	82
Die elektromotorische Kraft der gegenseitigen Induktion	Electromotive force of mutual induction	Force électromotrice d'induction mutuelle	Den ömsesidiga induktionens elektromotoriska kraft	E_m	82
Koeffizient der gegenseitigen Induktion	Coefficient of mutual induction	Coefficient d'induction mutuelle	Koefficient för ömsesidig induktion	$\mathfrak{l}_m$	82
Dynamische Elektricitätsmenge	Quantity of dynamic electricity	Quantité d'électricité dynamique	Dynamisk elektricitetsmängd	Q	83
Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität	Electrodynamic receptivity or capacity	Réceptivité ou capacité électrodynamique	Elektrodynamisk upptagningsförmåga eller kapacitet	C	84

---

*) Man macht natürlich eine Ausnahme, wenn man die elektrodynamischen Größen ***Kraft, Arbeit*** und ***Leistung*** mit resp. F_e, W_e und P_e bezeichnet. Dem gewählten Bezeichnungssystem nach müßte man, wenn man die Buchstaben F, W und P benutzen will, F_z, W_z und P_z schreiben, denn die entsprechenden mechanischen Größen wurden schon mit F, W und P bezeichnet. Die Bezeichnungsweise F_m, W_m und P_m bezw. F_e, W_e und P_e bietet bei kombinierten elektrischen und mechanischen Berechnungen verschiedene Vorteile, und man könnte sich vielleicht deshalb eine Ausnahme in der Bezeichnung gestatten, obwohl diese keineswegs unbedingt notwendig ist. Will man aber hier keine Ausnahme machen, sondern den Index **z** bei der Bezeichnung der fraglichen elektrodynamischen Größen benutzen, so darf natürlich der Index ($_m$) bei der Bezeichnung der entsprechenden mechanischen Größen fortfallen.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Elektrische Dichte	Electric density	Densité électrique	Elektrisk täthet	i	85
Phase	Phase	Phase	Fas	—	86
Phasenverschiebung	Shift of phase (Lead or lag in phase)	Décalage de phase	Fasförskjutning	—	86
Phasenunterschied	Difference of phase	Différence de phase	Fasskillnad	—	86
Phasenbeschleunigung	Lead in phase	Avance de phase	Fasförsprång	—	86
Phasenverzögerung	Lag in phase	Retard de phase	Fasefterspräng	—	86
Phasenwinkel	Angle of phase	Angle de phase	Fasvinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	86
Phasenverschiebungswinkel	Angle of lead or Angle of lag	Angle de décalage	Fasförskjutningsvinkel	φ	86
Periode (Periodenzahl)	Period	Période	Period	m	86
Frequenz (Periodizität)	Frequency (Periodicity)	Fréquence	Frekvens	f	86
Polwechsel	Alternation of polarity	Alternance de polarité	Polväxling	p	86
Dauer der Periode	Duration of the period	Durée de période	Periodvaraktighet	t_m	86
Momentanwert } der elektromotorischen Kraft	Instantaneous value } of the electromotive force	Force électromotrice { à l'instant	Momentanvärde (Ögonblicksvärde) } af den elektromotoriska kraften	E	86
Nullwert	Zero value	nulle	Nollvärde [de]	E_{nul}	86
Maximalwert (Scheitelwert)	Maximum value (Amplitude)	maxima	Maximalvärde (Amplitud)	E_{max}	86
Mittelwert	Mean value	moyenne	Medelvärde	E_{moy}	86

Effektivwert der elektromotorischen Kraft	Virtual value of the electromotive force	Force électromotrice efficace	Effektivvärde af den elektromotoriska kraften	E_{eff}	86
der Stromstärke	of the strength of the current	Intensité de courant électrique	af strömstyrkan		
Momentanwert	Instantaneous	à l'instant	Momentanvärde	A	86
Nullwert	Zero value [value	nulle	Nollvärde	A_{nul}	86
Maximalwert (Scheitelwert)	Maximum value (Amplitude)	maxima	Maximalvärde (Amplitud)	A_{max}	86
Mittelwert	Mean value	moyenne	Medelvärde	A_{moy}	86
Effektivwert	Virtual value	efficace	Effektivvärde	A_{eff}	86
Momentanwerte	Instantaneous values	Valeurs à l'instant	Momentanvärden		
E. M. Ursprungskraft	Original E. M. F.	F. é. m. originale	Ursprunglig e. m. k.	E_i	86
Zurückwirkende E. M. K.	Reacting E. M. F.	F. é. m. réactive	Tillbakaverkande e. m. k.	E_r	86
E. M. Nutzkraft	Useful E. M. F.	F. é. m. utile	Nyttig e. m. k.	E_u	86
Zugeführte elektrische Spannung	Impressed electric tension	Pression électrique appliquée	Tillförd elektrisk spänning	D_i	86
Wirklicher (metallischer) Widerstand	Resistance	Résistance	Verkligt (metalliskt) motstånd	R	86
Scheinbarer Widerstand (Reaktanz) im allgemeinen	Reactance	Réactance	Skenbart motstånd (Reaktans)	R_r	86
Resultierender Widerstand*) (Impedanz)	Impedance	Impédance	Resulterande motstånd (Impedans)	R_i	86

---

*) Meistens *scheinbarer Widerstand* genannt.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Selbstinduktions-Widerstand*) (Induktanz)	Inductance	Inductance	Självinduktions-motstånd (Induktans)	$\boldsymbol{R}_s$	86
Kapazitäts-Widerstand (Kapazitanz)	Capacitance	Capacitance	Kapacitets-motstånd (Kapacitans)	$\boldsymbol{R}_c$	86
[Admittanz]	[Admittance]	[Admittance]	[Admittans]	$\frac{1}{\boldsymbol{R}_i} = \boldsymbol{L}_i$	86
[Susceptanz]	[Susceptance]	[Susceptance]	[Susceptans]	$\frac{1}{\boldsymbol{R}_r} = \boldsymbol{L}_r$	86
Effektloser (wattloser) Strom	Powerless (wattless) current	Courant inefficace (Courant déwatté)	Effektlös (wattlös) ström	—	86
Leistungskoeffizient (Leistungsfaktor)	Power koefficient	Coefficient de puissance (Facteur de puissance)	Effektkoefficient	$\cos\varphi$	86
Einphasensystem	Single-phase-system	Système monophasé	Enfassystem	—	86
Zweiphasensystem	Two-phase-system	Système diphasé	Tvåfassystem	—	86
Dreiphasensystem	Three-phase-system	Système triphasé	Trefassystem	—	86
Mehrphasensystem	Polyphase system	Système polyphasé	Flerfassystem	—	86
Durch elektrischen Strom erzeugte:	By the electric current produced:	Par le courant électrique produite:	Genom elektrisk ström alstrad:		
a. Wärmemenge	**a.** Quantity of heat	**a.** Quantité de chaleur	**a.** Värmemängd	$\mathfrak{W}_e$	87
b. Temperatur	**b.** Temperature	**b.** Température	**b.** Temperatur	$\mathfrak{T}_e$	88

ElektrochemischeKraft	Electro-chemical force	Force électrochimique	Elektrokemisk kraft	$\boldsymbol{F}_\text{K}$ ev. $\boldsymbol{F}_\text{y}$	89
Elektrochem. Energie	Electro-chemic. energy	Énergie électrochim.	Elektrokemisk energi	$\boldsymbol{W}_\text{K}$ ev. $\boldsymbol{W}_\text{y}$	89
Elektrochem. Effekt	Electro-chemical power	Puissance électrochim.	Elektrokemisk effekt	$\boldsymbol{P}_\text{K}$ ev. $\boldsymbol{P}_\text{y}$	—
Elektrochemisches Äquivalent	Electro-chemical equivalent	Équivalent électrochimique	Elektrokemisk ekvivalent	kk_α	89

H. Elektromagnetische Größen:

Stärke des Magnetismus	Strength of magnetism	Intensité de magnétisme	Magnetismstyrka	$\boldsymbol{\Phi}$	92
Magnetische Dichte	Magnetic density	Densité magnétique	Magnetisk täthet	$\boldsymbol{\Theta}$	93
ElektrischeMagnetisierung oder Erregung	Electric magnetisation or excitation	Magnétisation ou excitation électrique	Elektrisk magnetisering eller excitation	$A\mathfrak{R}$	94
Spezifische elektrische Magnetisierung	Specific electric magnetisation	Magnétisation électrique spécifique *ou* magnétisation électrique uni-linéaire	Specifik elektrisk magnetisering	$\mathfrak{R}$	95
Magnetische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität	Magnetic receptivity or capacity	Réceptivité ou capacité magnétique	Magnetisk upptagningsförmåga eller kapacitet	$\mathfrak{C}$	96
Spezifische magnet. Aufnahmefähigkeit	Specific magnetic receptivity	Réceptivité magnétique spécifique	Specifik magnetisk upptagningsförmåga	k_μ	96
Susceptibilität	Susceptibility	Susceptibilité	Susceptibilitet	k_ζ	96
[Induktion]	[Induction]	[Induction]	[Induktion]	$\boldsymbol{\Theta}_s$	96
Permeabilität	Permeability	Perméabilité	Permeabilitet	k_ω	96

---

*) Meistens *induktiver Widerstand* genannt.

Namen der technophysikalischen Größen auf				Algebraische Bezeichnung	Artikel No.
deutsch	englisch	französisch	schwedisch		
Koeffizient der magnetischen Streuung	Coefficient of magnetic leakage	Coefficient de dispersion magnétique	Koefficient för magnetisk spridning	$\mathfrak{k}_{\psi}$	97
Magnetische Stromstärke (Magnetisch. Kraftfluß)	Strength of magnetic current (Flux of magnetic force)	Intensité de courant magnétique (Flux de force magnétique)	Magnetisk strömstyrka (Magnetiskt kraftflöde)	$\mathbf{\Phi}$	98
Magnetomotorische Kraft (M. M. K.)	Magnetomotive force (M. M. F.)	Force magnétomotrice (f. m. m.)	Magnetomotorisk kraft (m. m. k.)	$\mathfrak{D}$	98
Spezifische magnetomotorische Kraft	Specific magnetomotive force	Force magnétomotrice spécifique *ou* f. m. m. uni-linéaire	Specifik magnetomotorisk kraft	$\mathfrak{H}$	98
Magnetischer Leitungswiderstand	Magnetic resistance (Reluctance)	Résistance magnétique (Réluctance)	Magnetiskt ledningsmotstånd	$\mathfrak{R}$	98
Magnetische Leit(ungs)fähigkeit	Magnetic conductivity (Conductance)	Conductivité magnétique (Conductance)	Magnetisk ledningsförmåga	$\mathfrak{L}$	98
Spezifischer magnet. Leitungswiderstand	Specific magnetic resistance	Résistance magnétique spécifique	Specifikt magnetiskt ledningsmotstånd	$\mathfrak{k}_{\varkappa}$	98
Relativer dito	Relative ditto	Dito relative	Relativt dito	$\mathfrak{k}_{\nu}$	98
Spezifische magnet. Leit(ungs)fähigkeit	Specific magnetic conductivity	Conductivité magnétique spécifique	Specifik magnetisk ledningsförmåga	$\mathfrak{k}_{\mu}$	98
Relative dito	Relative ditto	Dito relative	Relativ dito	$\mathfrak{k}_{\lambda}$	98

Da in der Tat, wie aus dem nächsten Kapitel hervorgeht, Bedürfnis nach zwei physikalischen Maßsystemen vorhanden ist, einem philosophischen oder rein wissenschaftlichen und einem technischen, würde es wohl manchmal wünschenswert sein, falls die beiden Maßsysteme aus irgend einer Veranlassung an einer und derselben Stelle vorkommen oder gleichzeitig angewandt werden, daß man durch ein einfaches Zeichen, das oberhalb oder unterhalb der algebraischen Bezeichnungsbuchstaben angebracht werden kann, das eine Maßsystem von dem anderen sichtbar kennzeichnete. Hierdurch würde man auf den ersten Blick Gewißheit erhalten, welches Maßsystem und welche Maßeinheiten in dem einen oder anderen Falle gemeint sind oder zur Anwendung gebracht werden sollen. Ein solcher Unterschied würde bei zwei derartigen Maßsystemen bequem zu machen sein, wenn man bei dem philosophischen Maßsystem ein kleines o (°) oberhalb der Bezeichnungsbuchstaben setzt, wie beim schwedischen *å*, und bei dem technischen Maßsystem entweder einen Zirkonflex (~) oberhalb des Bezeichnungsbuchstaben, wie beim spanischen *ñ* (*n* mit Tilde) oder portugiesischen *ã* (*a* mit Til), oder auch einen geraden Strich (_) unterhalb des Bezeichnungsbuchstaben ($\underline{a}$, $\underline{b}$ u. s. w.). Im Falle, daß man den Unterschied in den Maßsystemen auf diese Weise hervorhebt, kann man, wenn man z. B. die allgemeine Bestimmungsgleichung der mechanischen Leistung

$$P_m = \frac{F_m \times l}{t} = \frac{W_m}{t},$$

wie folgt, schreibt

$$\mathring{P}_m = \frac{F_m \times l}{t} = \frac{W_m}{t},$$

sofort ersehen, daß die eingehenden Größen in Einheiten des philosophischen Maßsystems ausgedrückt werden sollen und daß das Resultat, d. i. die durch den algebraischen Ausdruck berechnete mechanische Leistung, somit in *Ergs per Sekunde* ausgedrückt wird. Für ein eventuelles technisches Maßsystem würde die nämliche Gleichung entweder

$$\tilde{P}_m = \frac{F_m \times l}{t} = \frac{W_m}{t},$$

oder auch

$$\underline{P}_m = \frac{F_m \times l}{t} = \frac{W_m}{t}$$

zu schreiben sein, je nach dem Zeichen, das man wählt, um das betreffende Maßsystem anzuzeigen (vgl. Art. 102 und 112).

II. Kapitel.

Messung technophysikalischer Größen und Maßeinheiten für solche Messungen.

3. Messungen und Maßsysteme im allgemeinen.

Jede Messung (das Wägen inbegriffen) von Größen besteht in einem Vergleiche mit bestimmten Maßeinheiten, und jedes Maßsystem ist auf gewisse, dem fraglichen System charakteristische Grundeinheiten oder Grundmaße basiert, die für öffentliche, kommerzielle oder gewerbliche Messungen, wie sie beim Warenaustausch u. s. w. vorkommen, durch gesetzliche Bestimmungen geregelt sind. Die Grundeinheiten in den verschiedenen Maßsystemen sind auf verschiedene Art entstanden; so z. B. im französischen Maßsystem, dem Metersystem, soll die Grundeinheit für Länge, das Meter, dem *Zehnmilliontel* vom Erdmeridiansquadranten und die Grundeinheit für Gewicht, das Gramm, dem Gewichte von *einem Kubikcentimeter* destillierten Wassers bei einer Temperatur von *vier* Grad nach Celsius gleich sein. Da es im täglichen Leben nicht immer bequem ist, in Metern und Grammen zu messen (bezw. zu wägen), hat man durch dekadische Vervielfachung und Teilung der Grundmaße, des Meters und des Grammes, eine gewisse Anzahl Hilfseinheiten geschaffen: Kilometer, Kilogramm, Millimeter, Milligramm u. s. w.

Es würde die Grenzen dieser Arbeit überschreiten, auf die verschiedenen *allgemeinen* Maßsysteme und die vielartigen Einheiten einzugehen, welche beim Warenaustausch u. dgl. angewandt werden.

Es wurde soeben angedeutet, daß es im täglichen Leben und im Handel bequem sei, Einheiten verschiedener Größen oder Dimensionen zu gebrauchen; und man benutzt dann meistens diejenige Einheit, die in dem gegebenen Falle den anschaulichsten Vergleich darbietet, d. h. in der Regel diejenige Einheit, die in der Dimension (Ausdehnung, Gewicht, Stoffmenge) am wenigsten von dem, was gemessen werden soll, abweicht. Anders verhält sich die Sache bei wissenschaftlichen Berechnungen, literarischen Arbeiten u. dgl. Hier ist es am bequemsten, so wenig Einheiten wie möglich anzuwenden, wodurch nicht nur einfachere und systematischere algebraische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) entstehen, sondern auch größere Übersicht erreicht und, was insbesondere in der Technik eine große Rolle spielt, viel Zeit bei den Berechnungen u. s. w. erspart wird. Ferner ist es hierbei von besonderer Bedeutung, solche Einheiten zu benutzen, durch welche ein genaues Resultat erzielt werden kann. Deshalb erscheint es wünschenswert, sowohl für philosophisch oder rein theoretisch physikalische, als auch für technophysikalische Zwecke spezielle, sogen. physikalische Maßsysteme aufzustellen, die auf eine möglichst kleine Anzahl fundamentaler Einheiten geeigneter Art und Größe gegründet sind. Daß ein tatsächliches Bedürfnis nach solchen einfachen und einheitlichen Maßsystemen besteht, findet man leicht, wenn man bedenkt, wie verschieden in der gegenwärtigen Literatur Formeln und Bestimmungsgleichungen aufgestellt werden: einmal findet man z. B. eine Formel, die so aufgestellt worden ist, daß das Resultat in Metern ausfallen soll, ein andermal in Centimetern u. s. w. Dasselbe findet bei Einheiten anderer Art statt. System in der algebraischen Formulierung würde auch zu System in den Koeffizientensammlungen führen.

Durch die Annahme und allgemeinere Anwendung einheitlicher und internationaler physikalischer Maßsysteme würde auch bald Ordnung und System in den sprachlichen und algebraischen Darlegungen oder Definitionen der physikalischen Größen herbeigeführt werden, und würde eine derartige Ordnung zweifellos auf die weitere Behandlung und vollständige Lösung verschiedener, hierhergehörender theoretischer Fragen vorteilhaft einwirken. Um sich einen Begriff hinsichtlich der wirklich bestehenden Verwirrung in Bezug auf die Auffassung und Definition gewisser Größen zu machen, braucht man nur als Beispiel auf die Begriffe *Gewicht, Masse, Schwere, Kraft*, *Arbeit* und *Energie* hinzuweisen.

4. Fundamentale Einheiten oder Grundeinheiten (Grundmaße) und ihre Wahl für verschiedene Maßsysteme.

Die Grundeinheiten oder Grundmaße eines jeden physikalischen Maßsystems, sei es für die philosophische, spekulative Wissenschaft, sei es für die Technik oder technische Wissenschaft bestimmt, sollten nicht nur in der Zahl möglichst beschränkt, sondern auch exakt definierbar sein. Man ist im allgemeinen der Ansicht, daß die geeignetste Anzahl der Grundeinheiten für derartige Maßsysteme drei sei, nämlich: eine für Länge, eine für Gewicht (bezw. Masse, Stoffmenge) und eine für Zeit; aber hinsichtlich sowohl der Größe oder Dimension, als auch der Eigenschaft der verschiedenen Einheiten wird man wohl kaum behaupten können, daß die Frage für alle Fälle endgültig erledigt sei. Die Lösung dieser Frage ist wahrscheinlich aus dem Grunde so sehr verzögert worden, weil man bemüht war, ein Maßsystem aufzustellen, welches sowohl philosophischen, als auch technischen Ansprüchen Genüge leisten sollte. Deutsche Gelehrte, namentlich Gauß und Weber, benutzten für rein theoretische Arbeiten ein Maßsystem, das *Millimeter, Milligramm* und *Sekunde* als Grundeinheiten hatte (**Mm. Mg. S.**-System), und englische Gelehrte schlugen die Anwendung eines Maßsystems vor, das *Centimeter, Gramm* und *Sekunde* als Grundeinheiten hatte (**C. G. S.**-System). Auf dem internationalen Kongresse der Elektriker in Paris im Jahre 1881 wurde das **C. G. S.**-System zur allgemeinen Anwendung empfohlen und angenommen. Für philosophische Arbeiten ist das **C. G. S.**-System unbestritten sehr geeignet und dürfte eine weit allgemeinere Anwendung verdienen, als die, zu welcher es bis jetzt gelangt ist; aber dieses System eignet sich sehr wenig oder gar nicht für technische oder praktische Zwecke infolge der Kleinheit der Grundeinheiten für Länge und insbesondere für Gewicht. Deshalb hat es auch nicht an Vorschlägen gefehlt, das **C. G. S.**-System durch irgend ein anderes System mit geeigneteren Grundeinheiten zu ersetzen. Es sind so mehrere Systeme in Betracht gezogen worden: *Meter-Kilogramm-Sekunde* (**M. K. S.**)-, *Meter-Gramm-Sekunde* (**M. G. S.**)-, *Meter-Tonne-Sekunde* (**M. T. S.**)-System u. s. w. Wie man sieht, enthalten sämtliche Maßsysteme die Sekunde als Zeiteinheit, die mithin $= 1 : (24 \times 60 \times 60) = 1 : 86400$ der Dauer eines mittleren Sonnentages ist. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß es für philosophische Arbeiten, bei welchen es vor allem auf eine genaue mathematische Behandlung der Probleme ankommt, und bei welchen man wohl auch Resultate zu bearbeiten hat, die aus Experimenten kleineren Maßstabes hervorgegangen sind, höchst unbequem sein würde, z. B. ein **M. T. S.**-, ja sogar auch ein *Decimeter-Kilogramm-Sekunde* (**D. K. S.**)-System anzuwenden. Aber ganz anders verhält es sich in der Technik, die Hand in Hand mit der Praxis arbeiten muß und die Versuchs- und Erfahrungsresultate aus Experimenten großen Maßstabes zu bearbeiten und Berechnungen auszuführen hat, nach welchen oft wichtige und verantwortungsvolle Arbeiten ausgeführt werden sollen. Fast bei allen technischen Berechnungen ist es nicht genug, daß die Berechnung mit einer für praktische Zwecke genügenden Genauigkeit ausgeführt wird, sondern das Endergebnis der Berechnung muß außerdem ein anschauliches Bild geben, das vom Rechnenden leicht aufgefaßt, verglichen und beurteilt werden kann, damit der Rechnende gleich eine korrekte Vorstellung bezüglich der Möglichkeit und der Brauchbarkeit des berechneten Wertes bekomme. Wer die Bedürfnisse der Technik und Praxis einigermaßen kennt, sieht sofort ein, daß ein **C. G. S.**-System für einen Techniker, gleichviel welcher Branche, ebenso unpraktisch wäre, wie z. B. ein **D. K. S.**-System, um nicht von einem **M. T. S.**-System zu sprechen, für einen Physiker sein würde. Ein annehmbares, gemeinsames System für beide Fälle zu schaffen, dürfte wohl nunmehr, nachdem das **C. G. S.**-System in Gebrauch gekommen ist, kaum möglich sein. Wahrscheinlich muß man sich für zwei Maßsysteme entschließen: das schon eingeführte (philosophische physikalische oder philosophisch wissenschaftliche) **C. G. S.**-System, welchem bei rein wissenschaftlichen Arbeiten immer mehr Beachtung geschenkt werden sollte, und ein besonderes Maßsystem für technische Arbeiten. Es wäre auch weit besser, zwei Maßsysteme einzuführen, jedes für seinen Zweck geeignet, als eine Art Einigungs- oder Vermittelungsmaßsystem, welches dann leicht für beide Fälle unpraktisch werden könnte. Nach der Ansicht des Verfassers müßte ein technophysikalisches oder technisch wissenschaftliches Maßsystem entweder auf *Decimeter-Kilogramm-Sekunde* (**D. K. S.**) oder auf *Centimeter-Kilogramm-Sekunde* (**C. K. S.**) als Grundmaße gegründet werden; eventuell könnte auch ein *Decimeter-Tonne-Sekunde* (**D. T. S.**)-System, obschon weniger vorteilhaft, in Frage kommen. Wie diese Systeme sich gestalten, werden wir im

IV. Kapitel sehen, wo die Vorteile jedes einzelnen dieser Systeme näher erörtert werden.

Physikalische Maßsysteme, die auf *drei* fundamentale Einheiten gegründet und nach demselben Prinzip (vgl. Art. 7) wie das **C. G. S.**-System konstruiert sind, werden meistens *absolute* Maßsysteme genannt. Da diese Bezeichnung sachlich inkorrekt und folglich auch irreführend ist, sollte sie vermieden werden.

5. Abgeleitete Maßeinheiten.

Bei der Messung geometrischer Größen geht man von irgend einer Längeneinheit (Centimeter, Decimeter u. s. w.) als Grundeinheit aus und bildet die Einheiten, die zur Messung von Flächen und Volumen notwendig sind, durch Ableitung (verschiedene Potenzen) von der Längeneinheit. Benutzt man das Centimeter (bezw. Decimeter) als Längeneinheit, und bezeichnet man die Ausdehnung oder *physikalische Dimension* der Längeneinheit mit $\mathbf{C}$ (bezw. $\mathbf{D}$), so wird die physikalische Dimension der Flächeneinheit $\mathbf{C}^2$ (bezw. $\mathbf{D}^2$) und die der Volumeneinheit $\mathbf{C}^3$ (bezw. $\mathbf{D}^3$). Nach ähnlicher Verfahrungsweise erhält man algebraische Ausdrücke als Bezeichnung für die Dimension anderer abgeleiteter Einheiten. So würde z. B. in einem **D. K. S.**-System die Dimension der abgeleiteten Einheit für das spezifische Gewicht, wenn man mit $\mathbf{K}$ die Dimension der fundamentalen Gewichtseinheit (1 Kilogramm) bezeichnet, gleich $\frac{\mathbf{K}}{\mathbf{D}^3} = \mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$ sein, die Dimension der abgeleiteten Einheit für mechanische Arbeit (im **D. K. S.**-System 1 Kilogramm · Decimeter) gleich $\mathbf{D\,K}$, und ferner, wenn $\mathbf{S}$ die Dimension der fundamentalen Zeiteinheit (1 Sekunde) bezeichnet, die Dimension der abgeleiteten Einheit für mechanische Leistung (1 Kilogramm · Decimeter : Sekunde) gleich $\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{S}} = \mathbf{D\,K\,S}^{-1}$ sein u. s. w. In einem **C. K. S.**-System würden die entsprechenden Ausdrücke (Dimensionen) $\mathbf{C}^{-3}\,\mathbf{K}$, $\mathbf{C\,K}$ und $\mathbf{C\,K\,S}^{-1}$ sein.

6. Fundamentale physikalische Zusammensetzung und physikalische Dimension der Maßeinheiten. Nutzen der Dimensionsausdrücke.

Die algebraischen Ausdrücke, welche die Ausdehnung oder Dimension der Einheiten darstellen oder anzeigen, z. B. die soeben angeführten Ausdrücke $\mathbf{D}$, $\mathbf{K}$, $\mathbf{S}$, $\mathbf{D}^2$, $\mathbf{D}^3$, $\mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$, $\mathbf{D\,K}$, $\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$,

$\mathbf{C}^{-3}\,\mathbf{K}$, $\mathbf{C\,K}$ und $\mathbf{C\,K\,S}^{-1}$, geben auch Aufschluß hinsichtlich der fundamentalen physikalischen Zusammensetzung oder physikalischen Natur der Einheiten. Ein solcher algebraischer Ausdruck wird auch algebraischer Dimensionsausdruck, Einheitsdimension oder schlechthin nur Dimension benannt. Der Dimensionsausdruck enthält zuweilen einen konstanten Zifferfaktor, und dies wird besonders häufig der Fall sein bei Einheitsdimensionen eines technophysikalischen Maßsystems, weil ein solches, um Anwendung zu gewinnen, verschiedene in der Praxis schon eingebürgerte, mehr oder weniger geeignete Einheiten (Kalorie, Volt, Ampère, Ohm u. s. w.) berücksichtigen muß. Als Beispiel einer Dimension mit konstantem Zifferfaktor mag hier die Einheit für Wärmemenge oder die Wärmeeinheit (Kalorie) angeführt werden. Nach der mechanischen Wärmetheorie sind mechanische Arbeit und Wärme nur verschiedene Formen von Energie, und, wenn man annimmt, daß die Wärmeeinheit (1 Kalorie) sei = 4280 **D. K. S.**-Arbeitseinheiten (4280 Kilogramm • Decimeter = 428 Kilogramm • Meter), so wird, da ja in einem **D. K. S.**-System **D K** die fundamentale physikalische Zusammensetzung der mechanischen Arbeitseinheit und auch ihre Dimension darstellt, die Dimension der Wärmeeinheit augenscheinlich = 4280 (**D K**) sein. Daraus ist ersichtlich, daß die Wärmeeinheit nichts anderes als eine Arbeitseinheit (bezw. Energieeinheit) sein kann, welche im **D. K. S.**-System 4280 mal größer als die eigentliche mechanische Arbeitseinheit ist, denn die fundamentale physikalische Zusammensetzung oder die physikalische Natur der beiden Einheiten ist genau dieselbe.

Die Dimensionen der Einheiten werden aus den Gleichungen ermittelt, welche die Größen algebraisch definieren oder bestimmen, und zwar dadurch, daß die in den Gleichungen enthaltenen algebraischen Bezeichnungen der physikalischen Größen, nachdem die Gleichungen auf ihre einfachste Form gebracht worden sind, durch die entsprechenden Dimensionsbezeichnungen ersetzt werden. Im **D. K. S.**-System ist z. B. die algebraische Definition (die Definitions- oder Bestimmungsgleichung) der mechanischen Leistung

$$\tilde{P}_{\mathrm{m}} = \frac{F_{\mathrm{m}} \times l}{t} = \frac{W_{\mathrm{m}}}{t},$$

und, wenn man anstatt W_{m} und t die entsprechenden Dimensionsbezeichnungen **D K** und **S** in die Gleichung einsetzt, erhält man

$$\tilde{P}_m = \frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{S}} = \mathbf{D\,K\,S}^{-1}$$

als algebraischen Dimensionsausdruck oder Dimension der Einheit mechanischer Leistung. Im Falle, daß Zifferfaktoren in der Bestimmungsgleichung einer physikalischen Größe vorkommen, üben dieselben niemals einen Einfluß auf denjenigen algebraischen Ausdruck aus, der die fundamentale physikalische Zusammensetzung der Einheit darstellt (oder der die Ausdehnung, die Dimension, der *idealen* Einheit angibt), da die fundamentale Zusammensetzung stets und nur eine Funktion der Grundeinheiten (**C-G-S, D-K-S, C-K-S** u. s. w.) ist. Dagegen können solche Zifferfaktoren in die algebraischen Ausdrücke, welche die Dimensionen der Einheiten darstellen, eintreten (vgl. das soeben betreffs der Wärmeeinheit Gesagte), wenn die mehr oder weniger willkürlich gewählte Dimension der betreffenden Einheit ein Vielfaches oder ein Bruchteil der Dimension ist, die durch den algebraischen Ausdruck, der die fundamentale Zusammensetzung der Einheit darstellt, angezeigt wird. Im **C. G. S.**-System ist der Dimensionsausdruck jeder Einheit, sowie der Ausdruck für die fundamentale Zusammensetzung der Einheit stets nur eine Funktion der Grundeinheiten. Dies würde auch immer der Fall sein bei jedem anderen physikalischen Maßsystem, das keine Rücksicht auf vorher bestimmte, in der Praxis schon eingebürgerte Einheitsgrößen nähme oder zu nehmen brauchte.

Da nun, wie wir schon gesehen haben, die algebraischen Ausdrücke, welche die physikalische Natur und Dimension der Einheiten bezeichnen, nichts anderes als eine umschriebene und vereinfachte Form der algebraischen Definition oder Bestimmungsgleichung der betreffenden physikalischen Größe sind, so folgt daraus, daß die Dimensionsausdrücke nicht durch weniger geeignete algebraische Abkürzungen, Kombinationen u. s. w. verunstaltet und sinnlos gemacht werden dürfen. So z. B. sollte der aus der Gleichung für Winkelgeschwindigkeit:

$$\mathring{w} = \frac{a}{t} = \frac{v}{r} = \frac{\mathbf{C\,S}^{-1}}{\mathbf{C}} = \mathbf{C\,S}^{-1}\,(\perp \mathbf{C}^{-1}) \text{ oder auch } \frac{\mathbf{I}_\alpha}{\mathbf{S}} = \mathbf{I}_\alpha\,\mathbf{S}^{-1}$$

erhaltene Dimensionsausdruck nicht, wie meistens geschieht, durch Abkürzungen auf die Form $\mathbf{S}^{-1}$ reduziert werden, weil man dadurch einen sinnlosen Ausdruck hervorbringt. — Hiermit soll jedoch nicht gesagt sein, daß jede Abkürzung zu verwerfen sei; nur sollte man vermeiden, die Ausdrücke auf unverständliche und sinnlose Formen zu bringen. In besonderen Fällen, wenn man z. B. gewisse Formeln oder algebraische Definitionen analysieren will, ist es mitunter sehr vorteilhaft, die Dimensionsausdrücke auf die einfachste mathematische Gestalt zu bringen, und in einigen Fällen ist es bloß eine Geschmacksache, welche Form dem Dimensionsausdruck gegeben wird.

Bei Gleichungen, welche nur ein Verhältnis zwischen numerischen Werten gleichartiger Größen (relatives Gewicht, relative Wärmeaufnahmefähigkeit u. dgl.) darstellen, erscheint die daraus gefundene Einheitsdimension nicht als eine Funktion der Grundeinheiten, sondern bloß als eine Zahl (sogen. unbenannte Zahl), und wird die Dimension in solchen Fällen, wie bei den absoluten Zahlen, trigonometrischen Funktionen und Ähnlichem, gleich *Eins* oder gleich der Ziffereinheit, die wir in den Dimensionsausdrücken mit der römischen Ziffer **I** bezeichnen, welche, wo es des Verständnisses halber nötig ist, mit kennzeichnendem Index, z. B. $\mathbf{I}_\alpha$, $\mathbf{I}_\beta$, $\mathbf{I}_\sigma$ u. s. w. versehen werden kann.

Die in einigen Dimensionsausdrücken benutzten Zeichen $(\perp \mathbf{C})$ oder $(\perp \mathbf{C}^{-1})$ bedeuten *winkelrecht im Abstande Eins*, und die Zeichen $(\mathsf{H}\, \mathbf{C})$ und $(\mathsf{H}\, \mathbf{C}^{-1})$ *in der Längsrichtung im Abstande Eins* oder *um die Strecke Eins voneinander entfernt.*

Nur wenige dürfte es wohl geben, die das bestehende Bedürfnis nach und die Vorteile von einem einheitlichen physikalischen Maßsystem nicht anerkennen; aber hinsichtlich des Nutzens der Dimensionsausdrücke sind die Meinungen sehr verschieden. Von der praktischen Seite ist man manchmal geneigt, die Aufstellung physikalischer Dimensionsausdrücke als eine Art philosophischer Spitzfindigkeit zu betrachten, wogegen viele Theoretiker den Wert der Dimensionsausdrücke überschätzen. Prüft man die Sache etwas gründlicher, so dürfte man jedoch in der Regel zu dem Schlusse gelangen, daß sowohl die Dimensionsausdrücke, als auch diejenigen Ausdrücke, welche die fundamentale physikalische Zusammensetzung der Einheiten darstellen, in mancher Hinsicht recht nützlich sein können, vorausgesetzt, daß sie nicht durch ungeeignete Abkürzungen u. s. w. verunstaltet und sinnlos gemacht werden. Mit Hilfe der Dimensionsausdrücke kann man: Gleichungen und Begriffe in Bezug auf ihre Gleichartigkeit prüfen und erkennen (vgl. z. B. die Bestimmungsgleichung der mechanischen Energie der Lage mit der

der mechanischen Energie der Bewegung), neue und unbekannte Formeln analysieren, sowie deren Richtigkeit gewissermaßen kontrollieren, und, falls der Dimensionsausdruck vollständig ist, Einsicht erlangen in sowohl die physikalische Natur der Einheit, als auch in die der entsprechenden physikalischen Größe; ferner kann man bequem und übersichtlich von einem Maßsystem in ein anderes umrechnen, sowie das Größenverhältnis entsprechender und in der physikalischen Zusammensetzung gleichartiger Einheiten aus verschiedenen Maßsystemen ermitteln u. dgl. Die Dimensionsausdrücke können deswegen nicht nur als wichtige philosophische, sondern auch als wichtige technische Hilfsmittel betrachtet werden; irgend einen großen, rein praktischen Wert besitzen die Dimensionsausdrücke dagegen nicht. — Selbstverständlich soll ein physikalisches Maßsystem hauptsächlich wissenschaftlichen und literarischen Zwecken dienen, mögen diese nun philosophischer oder technischer Art sein.

III. Kapitel.

Sprachliche und algebraische Definition der in der Technik am häufigsten vorkommenden physikalischen Größen.

Die in diesem Kapitel vorkommenden Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten haben Centimeter-Gramm-Sekunde als Grundmaße.

7. Das philosophisch wissenschaftliche oder philosophische physikalische C. G. S.-Maßsystem. Dessen Grundlage und Grundsätze.

Es wurde schon in Artikel 4 angeführt, daß die Grundeinheiten dieses Maßsystems *Centimeter-Gramm-Sekunde* sind. Zwar wird häufig angegeben, daß die Grundeinheiten des **C. G. S.**-Systems *Centimeter-Gramm-Masse-Sekunde* sind, wobei man mit *Gramm-Masse* diejenige Masse oder Stoffmenge (die Gesamtheit der Moleküle) bezeichnet, die in dem normalen, durch Gesetz bestimmten *Gramm-Gewichtsstücke* enthalten ist, welche Stoffmenge mit Recht auch als Masseneinheit des fraglichen Systems angenommen wurde. Gleichwohl will man, daß die Begriffe *Gewicht* und *Masse* streng auseinander gehalten werden; und so definiert man den Gewichtsbegriff dynamisch ($G = Mg$) und lehrt, daß das Gewicht eines Körpers (also auch das Gewicht eines normalen Gramm-Gewichtsstückes) mit dem Orte wechselt, d. h. mit der Beschleunigung infolge der Schwerkraft (g), wogegen seine Masse konstant bleibt ($= M$); dagegen unterscheidet man nicht zwischen Gewicht und Schwere. Unseres Erachtens ist diese Auffassung nicht richtig. Es ist die Schwere eines Körpers, die mit dem Orte wechselt, und nicht das Gewicht des Körpers. Das Gewicht eines Körpers muß überall dasselbe bleiben, vorausgesetzt, daß die Masse oder Stoffmenge des Körpers nicht verändert wird, d. h. wenn ein Körper am Äquator z. B. 1 Kilogramm wiegt, so wiegt er auch an den Polen oder an irgend einem anderen Orte 1 Kilogramm, wogegen die Schwere des Körpers, welche eine Eigenschaft der Materie oder des Stoffes ist, selbstredend vom Orte abhängig sein muß. Den Grund für die Auffassung, das Gewicht eines Körpers variiere mit dem Orte, scheint man aus dem Umstande zu entnehmen, daß eine sogen. Federwage, wenn ein und derselbe Körper (z. B. ein normales Kilogramm-Gewichtsstück) auf oder an die Wage gelegt oder gehängt wird, auf verschiedenen Stellen der Erde verschieden ausschlägt, und daraus, daß man diese Manipulation als Wägung betrachtet. Dies ist aber keine Wägung, sondern eine Messung der Schwere des Körpers oder der Wirkung der Schwere, oder eine Messung der Schwerkraft. Das Gewicht eines Körpers, d. h. das Verhältnis der Masse oder Stoffmenge dieses Körpers zu der eines anderen Körpers, der eine bestimmte Gewichtseinheit darstellt, kann nur durch wirkliche Wägung, also durch den Vergleich mit bestimmten Gewichtsstücken, genau bestimmt werden, gleichviel, ob das Wägen oder Vergleichen mit Federwage oder mit anderen Wagen vorgenommen wird. Also, wenn die Wägung eines und desselben Körpers in jedem Falle mit völlig identischen Gewichtsstücken ausgeführt wird, muß das Gewicht eines Körpers überall gleich ausfallen. Wirkliche Wägung mit Federwage ohne direkte Anwendung von Gewichtsstücken kann nur an dem Orte geschehen, für welchen die Wage mit Hilfe normaler Gewichtsstücke abgeglichen und gradiert wurde.

Die Schwere ist eine Natureigenschaft des Stoffes, die sich äußert im Bestreben eines jeden Körpers, sich in vertikaler Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde zu bewegen. Der numerische Wert der Schwere wird in Gewichtseinheiten angegeben.

Unterscheidet man das Gewicht (G) eines Körpers von der Schwere (U) desselben, so kann man die Masse (M) des Körpers nicht durch die allgemein übliche Formel $M = \frac{G}{g}$ definieren, sondern man muß dann entweder $M = \frac{U}{g}$, oder $M = \frac{G}{g_P}$ schreiben, wenn die Fallbeschleunigung an dem jeweiligen Orte mit g und in Paris mit g_P bezeichnet wird. Der numerische Wert der Masse eines Körpers ließe sich doch am bequemsten durch direktes Wägen bestimmen und in Gewichtseinheiten angeben. Bei der Aufstellung eines technophysikalischen Maßsystems ist es ohne Zweifel am geeignetsten, die Masse oder Stoffmenge, die in der für das betreffende System gewählten Gewichtseinheit enthalten ist, als Masseneinheit anzunehmen.

Auch um die Größe einer Kraft praktisch beurteilen zu können, muß man irgend eine bestimmte Gewichtseinheit benutzen. In der Technik und Praxis wird der numerische Wert einer Kraft stets in Gewichtseinheiten, und zwar meistens in Kilogrammen, ausgedrückt, aber in der Physik, wo die Kraft häufig durch einen dynamischen Ausdruck ($F_m = Ma$) definiert wird, in philosophischen Einheiten, *Dyns.*

In der Auffassung und Definition verschiedener physikalischer Größen bestehen in mancher Hinsicht gewisse Meinungsverschiedenheiten, und dies ist besonders auffällig bei den Begriffen *Gewicht, Schwere, Masse, Kraft, Arbeit* und *Energie.* Daß derartige Meinungsverschiedenheiten bei der Aufstellung physikalischer Maßsysteme nicht ohne Einfluß bleiben können, ist leicht einzusehen.

Das Charakteristische an dem philosophischen **C. G. S.**-Maßsystem liegt nicht, wie oft hervorgehoben wird, darin, daß man unter den Grundeinheiten eine sogen. *Normal-Masse* hat, sondern vielmehr in der Definition der Begriffe *Schwere, Schwerkraft, mechanische Kraft* u. dgl., sowie in der Wahl der Einheiten, und gerade dadurch ist das System für philosophisch naturwissenschaftliche Arbeiten so besonders geeignet, bei welchen man die erwähnten Begriffe mit großer Vorliebe als dynamische Funktionen betrachtet und auch mit Vorteil betrachten kann.

Man weiß, daß die Wirkung oder Kraftäußerung, die mit dem Namen *Schwerkraft* bezeichnet wird, sei es nun eine Anziehung, die von der Erde ausgeht, sei es ein Druck vom Weltraum her, an jedem Orte numerisch verschieden ist. Hieraus folgt, daß, wenn ein und derselbe Körper, dieselbe Masse oder Stoffmenge, z. B. das normale Gewichtsstück eines Kilogrammes oder dessen genaues Gewichtsäquivalent, an verschiedenen Orten der Erdoberfläche auf einen und denselben Dynamometer (Kraftmesser) gehängt, auf eine und dieselbe Federwage oder andere hiermit identische und gleich geeichte Vorrichtungen gelegt wird, das Dynamometer, die Federwage u. s. w. an jedem Orte einen anderen Ausschlag gibt, einen anderen numerischen Wert der Schwerkraft, bezw. der Schwere, anzeigt. Es ist offenbar, daß der Ausschlag der Federwage u. s. w. der Schwere (U) des Körpers, der Schwerkraft (U_F) und der Fallbeschleunigung (g) proportional sein muß, und infolgedessen erhält man, wenn die numerischen Werte dieser drei Größen an den verschiedenen Orten durch U_1, U_2, U_3, . . . ; $U_{F.1}$, $U_{F.2}$, $U_{F.3}$ . . . ; g_1, g_2, g_3 . . . u. s. w. (für denselben Ort gilt gleicher Zifferindex) bezeichnet werden,

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{F.1}}{U_{F.2}} = \frac{g_1}{g_2},$$

woraus folgt

$$\frac{U_1}{g_1} = \frac{U_2}{g_2} = \frac{U_3}{g_3} \text{ u. s. w.}$$

In dieser Gleichung erkennt man die bekannte algebraische Definition der Masse: $M = \frac{U}{g}$, die zwar häufig, aber unrichtig, weil die Fallbeschleunigung nicht an allen Orten gleich ist, $M = \frac{G}{g}$ geschrieben wird. Es ist klar, daß jedes Verhältnis zwischen der Schwere (bezw. der Schwerkraft) und der entsprechenden Beschleunigung ($\frac{U_1}{g_1}$, $\frac{U_2}{g_2}$ u. s. w.) denselben numerischen Quotient ($= M$) geben muß, was ausspricht, daß die Masse eines Körpers an allen Orten gleich ist; und vermutlich gab dieser Umstand nebst der Verwechselung bezw. Gleichsetzung der Begriffe *Gewicht* und *Schwere* die Veranlassung zu der besonderen Betonung, daß die eine der drei Grundeinheiten im **C. G. S.**-System eine *Normal-Masse* und keine Gewichtseinheit sei.

Da die Schwere und Schwerkraft mit Hinsicht auf denselben Körper numerisch gleich sein müssen, kann man schreiben

$$M = \frac{U}{g} = \frac{U_F}{g},$$

woraus man erhält

$$U_F = Mg$$

als algebraischer Ausdruck für die Schwerkraft. Wird in dieser Gleichung F_m anstatt U_F und a (= die Beschleunigung im allgemeinen) anstatt g eingesetzt, so hat man

$$F_m = Ma,$$

und das ist die algebraische Definition der mechanischen Kraft im **C. G. S.**-System. Aus der letzten Gleichung geht hervor, daß die philosophische Einheit der Kraft diejenige Kraft ist, die in der Zeiteinheit (in einer Sekunde) der Masseneinheit (einem Gramme) eine Geschwindigkeitsänderung gleich der Einheit der Geschwindigkeit (einem Centimeter per Sekunde) erteilt.

Dieser Krafteinheit hat man den Namen *Dyn* (*dyn* — vom griechischen δύναμις) gegeben.

Als Beispiel einer Anwendung letztgenannter Gleichung möge das Folgende dienen: — Bedient man sich des einfachen Bremsbandes zur Ermittelung der Leistung eines Motors, den man sich beispielsweise in Rom aufgestellt denke, und beobachtet man, nach eingetretenem Gleichgewicht, am Bremsbande eine Belastung von z. B. 100 Kilogramm (100000 Gramm), hat man, da man annimmt, daß die Messung der Leistung in Rom stattfindet, wo der numerische Wert von $\mathring{g}$ gleich 980,36 Centimeter per Sekunde per Sekunde ist, $M = 100000$ und $\mathring{g} = 980{,}36 = a$, und die wirkende Kraft in **C. G. S.**-Einheiten $F_m = M a = 100000 \times 980{,}36 = 9{,}8036 \times 10^7$ Dyn. Wenn der Motor in Stockholm aufgestellt wäre ($\mathring{g} = 981{,}85 = a$), und dieselbe Last (100 Kilogramm) am Bremsbande hinge, würde man finden $F_m = 9{,}8185 \times 10^7$ Dyn. Wird dieselbe Belastung am Bremsbande sowohl in Rom, als auch in Stockholm benutzt, muß der Motor augenscheinlich an diesem Orte eine etwas größere Leistung als an jenem Orte entwickeln, um Gleichgewicht zu erzielen. Um die gleiche Leistung an den beiden Orten zu erhalten, müßte die Belastung am Bremsbande in demselben Verhältnis verändert werden, wie sich die Fallbeschleunigung verändert. Das angeführte Beispiel zeigt, daß man in der Regel bei gewöhnlichen technischen und praktischen Berechnungen die Veränderung in der Schwerkraft allerdings nicht zu berücksichtigen braucht, daß dies aber wohl bei philosophischen Arbeiten notwendig sei, bei welchen man somit für $\mathring{g}$ nicht den Durchschnittswert 981 anwenden darf, wie man meistens tut; denn geschieht das, so verlieren die Berechnungen ja auf einmal die ganze Genauigkeit, die durch die Anwendung des **C. G. S.**-Systems entstehen sollte.

Im Zusammenhange mit den in diesem Kapitel enthaltenen Definitionen der am häufigsten vorkommenden technophysikalischen Größen werden wegen der Einfachheit und größeren Anschaulichkeit nur Einheitsdimensionen, die sich auf das **C. G. S.**-System beziehen, aufgenommen. Die Dimensionen der Maßeinheiten sowohl in Bezug auf ein **D. K. S.**-, als auch auf ein **C. K. S.**-System werden im IV. Kapitel einzeln dargestellt.

A. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten.

8^a. Länge (l).

Die Einheit der Länge bildet, wie schon angeführt, die eine der drei Grundeinheiten in allen physikalischen Maßsystemen. Für das **C. G. S.**-System hat man das Centimeter als Längeneinheit gewählt; daher ist die physikalische Dimension der fraglichen Einheit in diesem System = **C**, d. h. 1 Centimeter (1 *cm*).

8^b, Breite (b) und Höhe (h).

Breite, sowie Höhe, Dicke und Tiefe werden mit derselben Einheit wie Länge gemessen und haben demnach dieselbe Einheitsdimension, **C**.

8^c. Fläche (S).

Die algebraische Definition oder Bestimmungsgleichung des Begriffes *Fläche* ist

$$S = l\,b\,,$$

und die aus den Dimensionen der Einheiten für Länge und Breite abgeleitete Dimension der Einheit für Fläche ist mithin $\mathbf{C} \cdot \mathbf{C} = \mathbf{C}^2$, d. h. 1 Quadratcentimeter (1 *qcm* oder cm^2).

8^d. Volumen (V).

Die Bestimmungsgleichung des Volumens ist

$$V = S\,h = S\,l\,,$$

und demzufolge ist seine Einheitsdimension $\mathbf{C}^2 \cdot \mathbf{C} = \mathbf{C}^3$, d. h. 1 Kubikcentimeter (1 *ccm* oder cm^3).

8^e. Kreishalbmesser oder Radius (r).

Kreishalbmesser oder Radius ist identisch mit einer Länge, deshalb seine Einheitsdimension **C**.

8^{f}. Kreisdurchmesser oder Diameter (*d*).

Kreisdurchmesser oder Diameter ist gleich zwei Kreishalbmessern desselben Kreises, woraus folgt

$$d = 2\,r\,,$$

und sonach die Dimension der Einheit wieder **C**. Der Zifferfaktor 2 übt in diesem Falle keinen Einfluß auf die Einheitsdimension aus, weil Durchmesser und Halbmesser Längen sind und folglich nach derselben Maßeinheit gemessen werden.

8^{g}. Kreisumfang (*o*).

Die Definition des Kreisumfanges ist

$$o = \pi\,d = 2\,\pi\,r\,,$$

seine Einheitsdimension **C**. In Betreff des Faktors π ($= 3{,}141593$) gilt dasselbe, was eben hinsichtlich des Faktors 2 gesagt wurde.

8^{h}. Kreisbogen (*s*).

Ein Kreisbogen ist identisch mit einer Länge, er hat auch die Einheitsdimension **C**.

8^{i}. Ebener Winkel.

Ebener Winkel wird teils in Bogenmaß (α), teils in trigonometrischem Maße, in Gradmaß (β, γ, δ) oder Graden mit den Unterabteilungen Minuten und Sekunden, gemessen. Für Bogenmaß hat man die Gleichung

$$\alpha = \frac{s}{r}$$

und, weil die Einheiten für Bogen und Halbmesser gleich sind, die Einheitsdimension $\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{C}} = \mathbf{I}$ oder $\mathbf{I}_\alpha$, d. h. das numerische Ergebnis der Gleichung gibt die Bogenlänge des betreffenden Winkels in Kreishalbmessern an. Für die Einheit $\mathbf{I}_\alpha$ hat man den Namen *Radian* oder (für die germanischen Sprachen vielleicht geeigneter) *Radiant* vorgeschlagen, was in trigonometrischem Maße $57^0\ 17'\ 44{,}806''$ entspricht, da ein gerader Winkel $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ in 90^0 geteilt wird. Der Umfang eines Kreises hat $2\,\pi$ Radianten. In neuester Zeit hat man vorgeschlagen, einen geraden Winkel in 100 Grad zu teilen, ein Vorschlag, der ohne Zweifel eine recht praktische und verhältnismäßig leicht durchführbare Reform enthält.

Die Einheitsdimension für Winkel in trigonometrischem Maße ist selbstverständlich auch gleich I oder I_β, I_γ, I_δ .

8^k. Räumlicher Winkel (σ).

Räumlichen Winkel nennt man die Zuspitzung des Raumes innerhalb einer Kegelfläche oder im allgemeinen die Neigung, Raumzuspitzung, zwischen drei oder mehreren Ebenen, welche sich in der Weise schneiden, daß ihre sämtlichen Schnittlinien in einem Punkt, in der Spitze des Winkels, zusammentreffen. Um einen räumlichen Winkel numerisch zu bestimmen, denke man sich die Spitze des räumlichen Winkels zugleich als Mittelpunkt einer Kugel (Sphäre). Bezeichnet man nun den Teil der Kugelfläche, der von den Ebenen, die den Winkel bilden, eingeschlossen oder begrenzt wird, mit S und den entsprechenden Kugelhalbmesser mit r, und beurteilt man die Größe des Winkels nach dem Verhältnis des erwähnten Teiles S der Kugelfläche zum Quadrate des Kugelhalbmessers r^2, so erhält man als algebraische Definition oder Bestimmungsgleichung des räumlichen Winkels

$$\sigma = \frac{S}{r^2} ,$$

und wird die Dimension der Einheit folglich $\frac{C^2}{C \cdot C} = I$ oder I_σ , welche Einheit zuweilen nach einem Vorschlage von Macfarlane unter dem Namen *Steradian* oder *Steradiant* (nach dem griechischen Worte στερεός und dem lateinischen *radius*) vorkommt.

B. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten.

9. Zeit (t).

Zeit ist eine astronomische Größe, deren man auch bedarf zur Bestimmung einer erheblichen Menge der technophysikalischen Größen. In jedem physikalischen Maßsystem muß man deswegen unter den Grundeinheiten auch eine Zeiteinheit haben, und man hat als *physikalische Zeiteinheit* die Sekunde gewählt, welche sich vortrefflich zu diesem Zwecke eignet. Die Sekunde ist $\frac{1}{86400}$ eines mittleren Sonnentages. Ihre physikalische Dimension wird mit $\mathbf{S}$ (= 1 Sekunde oder 1 *sec*) bezeichnet. — Man hat auch als physikalische Zeiteinheit eine Zeit gleich $\frac{1}{100000}$ des mittleren Sonnentages vorgeschlagen. Für philosophische Arbeiten wäre es vielleicht möglich, eine solche Zeiteinheit zu benutzen, aber für technische und praktische Arbeiten kann man sich nur der astronomischen Zeiteinteilung bedienen, womit die gewöhnlichen Zeitmessungsinstrumente (die Uhren) versehen sind.

10. Geschwindigkeit (v).

Geschwindigkeit ist die Stärke der Bewegung eines Körpers; das Maß der Geschwindigkeit wird durch die von einem bestimmten Punkt in Bezug auf einen anderen Punkt, den man als ruhend annimmt, in der Zeiteinheit zurückgelegte Weglänge angegeben. Wenn ein in fortschreitender Bewegung begriffener Körper oder Massenpunkt in gleichen Zeitabschnitten gleiche Weglängen zurücklegt, nennt man die Bewegung *gleichförmig;* ist das aber nicht der Fall, so nennt man die Bewegung *ungleichförmig* oder *veränderlich.* Für gleichförmige Bewegung erhält man daher als Bestimmungsgleichung der Geschwindigkeit

$$v = \frac{l}{t}$$

und für ungleichförmige Bewegung

$$v = \frac{dl}{dt}.$$

Die Dimension der Einheit der Geschwindigkeit wird

$$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{S}} = \mathbf{C}\mathbf{S}^{-1} = 1 \ \mathit{cm} \text{ per } \mathit{sec}.$$

11. Geschwindigkeit bei Drehung um eine Achse oder Rotationsgeschwindigkeit.

Der numerische Wert der Rotationsgeschwindigkeit wird angegeben in

a. Anzahl der Umdrehungen — Touren — (m_x) per Zeiteinheit

$$n = \frac{m_x}{t} \text{ Umdrehungen per } \mathit{sec}.$$

b. Radianten (α) per Zeiteinheit (= Winkelgeschwindigkeit — w)

$$w = \frac{\alpha}{t} = \frac{v}{r}, \text{ bezw. } = \frac{d\alpha}{dt} \text{ Radianten per } sec$$

oder gleich der Geschwindigkeit (Weglänge in der Zeiteinheit) eines Punktes, der sich in einer kreisförmigen Bahn bewegt, die sich in einem Abstande (= dem Kreishalbmesser) gleich der Längeneinheit von der *Drehachse* befindet; d. h., wenn man speziell auf das **C. G. S.**-System Bezug nimmt, *cm* per *sec* im Abstande $r = 1$ *cm*.

Als Einheitsdimension erhält man:

a. $$\mathring{n} = \frac{m_x}{t} = \frac{\mathbf{I}_{mx}}{\mathbf{S}} = \mathbf{I}_{mx}\,\mathbf{S}^{-1} = 1 \text{ Umdrehung per } sec$$

b. $$\mathring{w} = \frac{\alpha}{t} = \frac{\mathbf{I}_\alpha}{\mathbf{S}} = \mathbf{I}_\alpha\,\mathbf{S}^{-1} = 1 \text{ Radiant per } sec$$

oder

$$\mathring{w} = \frac{v}{r} = \frac{\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{C}} = \mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}\,(\perp \mathbf{C}^{-1}) = 1 \; cm \text{ per } sec$$

in einem Abstande von 1 *cm* von der Drehachse. Keiner dieser Dimensionsausdrücke sollte, wie in der Regel geschieht, durch algebraische Kürzung auf die Form $\mathbf{S}^{-1}$ gebracht werden, weil die Ausdrücke dadurch sinnlos werden. Zwar bezeichnet alles, was in einem bestimmten Zeitabschnitt stattfindet, stets irgend eine Geschwindigkeit oder Schnelligkeit, aber keineswegs immer eine Rotations- oder Achsenumdrehungsgeschwindigkeit.

12. Beschleunigung und Verzögerung im allgemeinen (a).

Unter Beschleunigung bezw. Verzögerung versteht man den Betrag oder die Stärke der Geschwindigkeitsänderung, die in der Zeiteinheit stattfindet, und die also positiv (Geschwindigkeitszunahme, Beschleunigung) oder negativ (Geschwindigkeitsabnahme, Verzögerung), zu- oder abnehmend, sein kann. Ist die Geschwindigkeitsänderung gleichförmig, d. h. finden in gleichen Zeitabschnitten gleiche Geschwindigkeitsänderungen statt, so ist

$$a = \frac{v}{t},$$

Für ungleichförmige Geschwindigkeitsänderungen hat man mithin

$$a = \frac{dv}{dt} \cdot$$

Die Dimension der Einheit ist

$$\mathring{a} = \frac{v}{t} = \frac{\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{S}} = (\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1})\,\mathbf{S}^{-1} = \mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-2} = 1\,cm$$

per *sec* per *sec* oder 1 *cm* per *sec*^{2}.

Winkelbeschleunigung (a_w) ist die Stärke der Änderung in der Winkelgeschwindigkeit per Zeiteinheit; somit ist

$$a_w = \frac{w}{t}, \text{ bezw. } = \frac{dw}{dt} \cdot$$

Demnach erhält man als Einheitsdimension

$$\mathring{a}_w = \frac{w}{t} = \mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-2}\,(\perp \mathbf{C}^{-1}) \text{ oder } \mathbf{I}_a\,\mathbf{S}^{-2} =$$

1 *cm* per *sec* per *sec* in einer kreisförmigen Bahn, die im Abstande 1 *cm* von der Drehachse liegt, oder = 1 Radiant per *sec* per *sec*.

13. Fallbeschleunigung oder Beschleunigung infolge der Schwerkraft

(g und speziell für Paris g_P).

Fallbeschleunigung ist die Beschleunigung, die ein Körper in der Zeiteinheit erfährt, wenn er senkrecht in luftleerem Raume frei fällt. Sie ist nicht an allen Orten numerisch gleich, sondern ihr numerischer Wert richtet sich nach der Stärke der Schwerkraft. Sie wird gewöhnlich durch Pendelbeobachtungen ermittelt, und für ihre Berechnung hat man empirische Formeln aufgestellt. So ist z. B. nach Broch:

$$\mathring{g} = 980{,}5966\,(1 - 0{,}00259\,\cos 2\,\beta)\,(1 - 0{,}00000000196\,h),$$

worin β die geographische Breite und h die Höhe des betreffenden Ortes über dem Meere bezeichnet. Hiernach erhält man:

am Äquator	$\mathring{g} = 978{,}10$	*cm* per *sec* per *sec*
in Alexandria	„ $= 979{,}43$	„
„ Rom	„ $= 980{,}36$	„
„ Paris	„ $= 980{,}96$	„
„ Greenwich	„ $= 981{,}21$	„

in Berlin $\mathring{g} = 981{,}28$ *cm* per *sec* per *sec*
„ Kopenhagen „ $= 981{,}56$ „
„ Stockholm „ $= 981{,}85$ „
„ Christiania „ $= 981{,}89$ „
an den Polen „ $= 983{,}18$ „

Der Unterschied zwischen den größten und kleinsten Werten ist demgemäß 5,08 *cm* per *sec* per *sec* oder ungefähr $\frac{1}{2}\,\%$. Bei praktischen Berechnungen setzt man gewöhnlich als Mittelwert $\mathring{g} = 981$, aber, wenn man das C. G. S.-System benutzen will, darf man selbstverständlich keinen Mittelwert für $\mathring{g}$ gebrauchen, sondern man muß dann stets den für den betreffenden Ort geltenden Wert einsetzen. Die algebraische Definition der Fallbeschleunigung ist selbstredend identisch mit derjenigen, die für Beschleunigung im allgemeinen gilt, also

$$g = \frac{v}{t}\,.$$

Demzufolge wird die Einheitsdimension auch dieselbe sein, nämlich C S^{-2}.

14. Gewicht (G).

An dieser Stelle mag nochmals an den Umstand erinnert werden, daß manche die Ansicht verfechten, das Gewicht eines Körpers oder einer räumlich begrenzten Stoffmenge wechsele mit dem Orte, und daß sie dann den Begriff des Gewichtes durch einen dynamischen Ausdruck $\mathring{G} = Ma$ *dyn* definieren. Nach dieser Auffassung würde das normale Gramm-Gewichtsstück, wenn das Gewicht mittels der angeführten Formel berechnet wird, wobei $M = 1$ Gramm und $a = \mathring{g}$ zu setzen ist, wiegen:

am Äquator $\mathring{G} = 1 \times 978{,}10 = 978{,}10$ *dyn*
in Alexandria „ $= 1 \times 979{,}43 = 979{,}43$ „
„ Rom „ $= 1 \times 980{,}36 = 980{,}36$ „
„ Paris „ $= 1 \times 980{,}96 = 980{,}96$ „
„ Greenwich „ $= 1 \times 981{,}21 = 981{,}21$ „
„ Berlin „ $= 1 \times 981{,}28 = 981{,}28$ „
„ Kopenhagen „ $= 1 \times 981{,}56 = 981{,}56$ „
„ Stockholm „ $= 1 \times 981{,}85 = 981{,}85$ „
„ Christiania „ $= 1 \times 981{,}89 = 981{,}89$ „
an den Polen „ $= 1 \times 983{,}18 = 983{,}18$ „

Wir teilen indessen diese Auffassung des Gewichtsbegriffes nicht, sondern wir fassen das Gewicht eines Körpers oder einer gegebenen Stoffmenge als einen relativen, numerischen Wert auf, der durch Wägung bestimmt wird, und der das Verhältnis der Schwere angibt zwischen diesem Körper, dieser Stoffmenge, und einer anderen Stoffmenge, welche in der Regel durch gesetzliche Bestimmung definiert ist, und welche als Gewichtseinheit (Normal-Gewichtsstück) angenommen wird, z. B. das normale Gramm-Gewichtsstück, dessen Masse oder Stoffmenge den gesetzlichen Vorschriften nach dieselbe Schwere wie die Masse von 1 Kubikcentimeter chemisch reinen Wassers im Zustand der größten Dichte (bei ungefähr 4° C) aufweisen soll. Demnach drückt das Gewicht eines Körpers auch ein Massenverhältnis aus, nämlich das Verhältnis der Stoffmenge eines Körpers zur Stoffmenge eines bestimmten Gewichtsstückes; und folglich gibt das Gewicht auch die Masse oder Stoffmenge an, die in dem betreffenden Körper enthalten ist. Aus einer Gewichtsangabe erhält man also eine unmittelbare Vorstellung von der Stoffmenge eines Körpers; wenn man deshalb von einem Körper sagt, daß er 20 Kilogramm wiegt, so ist damit auch gesagt, daß der numerische Wert seiner Masse oder Stoffmenge 20 Kilogramm beträgt, vorausgesetzt, daß man dieselbe Maßeinheit für Gewicht und Masse gewählt hat. Das Wägen ist im allgemeinen eine Massenbestimmung, obwohl es meistens, weil Gewichte oder Gewichtsstücke dabei gebraucht werden, eine Gewichtsbestimmung genannt wird. Daher kommt es auch, daß man meistens vom Gewichte eines Körpers spricht und nur selten von dessen Masse. Sonach würde man auch vom Gewichte des Einheitsmaßes selbst oder des besonderen Körpers, welcher *Gewicht, Gewichtsstück, Gewichtsmaß* u. s. w. genannt wird, sprechen können. Man kann ja auch von der Länge des Maßes, welches Längeneinheit u. s. w. genannt wird, sprechen.

Die Gewichtseinheiten, bezw. die Gewichtsstücke oder Gewichte, bilden nur Hilfsmittel, Maße, deren man bedarf, um Masse, Schwere, Kraft u. a. m. numerisch beurteilen oder messen zu können. Wenn man also das Wort *Gewicht* überhaupt für andere Sachen als Gewichte (= Gewichtsstücke, Maße, die durch bestimmte Stoffmengen gekennzeichnet sind) gebrauchen will, würde es keineswegs unrichtig sein, vom Gewicht oder Gewichtsäquivalent einer Masse u. s. w. zu sprechen. Der Begriff *Gewicht* sollte nicht, wie häufig vorkommt, mit dem Begriff *Schwere* verwechselt oder gleichgesetzt werden, denn diese ist eine Natureigenschaft der Stoffe, jenes aber ein rein numerischer Wert, nur ein Verhältnis der Schwere bestimmter Körper (die relative Schwere der Körper). Die Masse eines Körpers ist dem Gewichte des Körpers selbstverständlich stets proportional und, wenn dieselben Maßeinheiten benutzt werden, auch numerisch gleich, einerlei, an welchem Orte der Körper sich befindet, vorausgesetzt, daß die Stoffmenge des Körpers während eventueller Lage- oder Ortsveränderung u. s. w. keine Ab- oder Zunahme erleidet. Dagegen ist der numerische Wert der Schwere des Körpers und somit auch das numerische Verhältnis zwischen den Maßzahlen des Gewichtes (bezw. der Masse) und der Schwere des Körpers an jedem Orte verschieden.

Im **C. G. S.**-System gibt man das *Dyn* als Gewichtseinheit an, d. i. dieselbe Einheit wie für Kraft in demselben Maßsystem. Die philosophische algebraische Definition des Gewichtes (und der Kraft) lautet nämlich

$$\mathring{G} = M a,$$

und infolgedessen wird die Einheitsdimension

$$\mathring{G} = M \cdot a = \mathbf{G} \cdot \mathbf{C}\mathbf{S}^{-2} = \mathbf{C}\mathbf{G}\mathbf{S}^{-2} = 1\,dyn.$$

Daraus geht hervor, daß manche Gewicht und Kraft als identisch betrachten, was jedenfalls daher kommt, daß sie die Begriffe *Gewicht* und *Schwere* auch für identisch halten.

Besser würde man wohl tun, wenn man im **C. G. S.**-System zwischen Gewicht und Schwere einen Unterschied machte und diejenige Stoffmenge, die mit dem Namen *Gramm* bezeichnet wird, als Einheitsmaß für Gewicht benutzte. Dann wird die Dimension der Gewichtseinheit $= \mathbf{G} = 1$ Gramm (*grm* oder, obwohl wegen Verwechselung weniger angebracht, nur *g*). Nach dieser Anschauung werden wir im folgenden die Einheitsdimensionen aufstellen. — In der Technik benutzt man meistens das Kilogramm (1 *kg*) als Gewichtseinheit.

15. Spezifisches Gewicht (k_G).

Das spezifische Gewicht eines bestimmten Stoffes, einer bestimmten Substanz, ist das Gewicht (oder die Menge) eines Raumteiles des Stoffes, welcher der Volumeneinheit inhaltsgleich ist; daher hat man

$$k_G = \frac{G}{V}.$$

Die Einheitsdimension im **C. G. S.**-System wird nach unserer Anschauung dann

$$k_{\mathrm{G}} = \frac{G}{V} = \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{C}^3} = \mathrm{C}^{-3}\,\mathrm{G} = 1\,grm \text{ per } cm^3,$$

soll aber nach den philosophischen Darstellungen lauten

$$\mathring{k}_{\mathrm{G}} = \frac{G}{V} = \frac{M \cdot a}{V} = \frac{\mathrm{C\,G\,S}^{-2}}{\mathrm{C}^3} = \mathrm{C}^{-2}\,\mathrm{G\,S}^{-2} = 1\,dyn \text{ per } cm^3.$$

Auf Grund der Wahl der Gewichtseinheit (das Maßstück des Grammes wiegt so viel wie 1 cm^3 chemisch reinen Wassers bei größter Dichtigkeit) wird das spezifische Gewicht des Wassers numerisch = 1.

Anstatt des Ausdruckes *spezifisches* Gewicht wird bisweilen der weniger geeignete Ausdruck *absolutes* Gewicht benutzt. Überhaupt sollte man etwas mehr bemüht sein, die Bezeichnungen *spezifisch*, *absolut* und *relativ* richtig zu gebrauchen.

Die in allen technischen Handbüchern aufgenommenen numerischen Werte des spezifischen Gewichtes repräsentieren gleichzeitig

Milligramme per Kubikmillimeter,
Gramme per Kubikcentimeter,
Kilogramme per Kubikdecimeter,
Tonnen (Megagramme) per Kubikmeter,
Kilotonnen per Kubikdekameter u. s. w.

und können somit ebenfalls für das **C. G. S.**-System benutzt werden, wenn das Gramm-Gewichtsstück als Maß der Gewichtseinheit genommen wird. Wird dagegen das Dyn als Gewichtseinheit gewählt, was jedoch weniger empfehlenswert sein dürfte, so müßten jene Zahlenwerte, wenn es sich um *spezifisches* (nicht relatives!) Gewicht handelt, mit $\mathring{g}$ des jeweiligen Ortes multipliziert werden. Hiernach würde also das spezifische Gewicht eines bestimmten Stoffes, einer bestimmten Substanz, mit dem Orte wechseln; und so würde z. B. das spezifische Gewicht des Wassers = $\mathring{g}$ sein.

16. Relatives Gewicht (k_g).

Unter diesem Ausdruck versteht man das numerische Verhältnis, die Verhältniszahl, des spezifischen Gewichtes ($k_{\mathrm{G}.2}$) eines bestimmten Stoffes zum spezifischen Gewichte ($k_{\mathrm{G}.1}$) des Wassers, und so erhält man

$$k_g = \frac{k_{\mathrm{G}.2}}{k_{\mathrm{G}.1}},$$

woraus $\frac{\mathrm{C}^{-3}\,\mathrm{G}}{\mathrm{C}^{-3}\,\mathrm{G}} = 1$ als Einheitsdimension sich ergibt. Infolge der Wahl der Gewichtseinheit einerseits und des Vergleiches mit Wasser bei der Bestimmung des relativen Gewichtes andererseits wird das spezifische und relative Gewicht eines Stoffes, falls das Gramm-Gewichtsstück als Maß der Gewichtseinheit benutzt wird, durch denselben Zahlenwert ausgedrückt, obgleich die beiden Begriffe verschieden sind und deshalb an und für sich nicht verwechselt werden dürfen. Die Dimensionsausdrücke der Einheiten heben überdies die Verschiedenheit der beiden Begriffe deutlich hervor.

Bei der Bestimmung des relativen Gewichtes von Gasen und Dämpfen benutzt man gewöhnlich das Verhältnis des spezifischen Gewichtes des Gases oder Dampfes zum spezifischen Gewichte trockner Luft, bestehend aus etwa 78,67 Raumteilen Stickstoff und 21,33 Sauerstoff. Das relative Gewicht der Luft wird mithin = 1.

17. Spezifisches Volumen (k_V).

Das spezifische Volumen eines bestimmten Stoffes ist das Volumen (der Rauminhalt) eines der Gewichtseinheit gleichwertigen Gewichtsteiles des betreffenden Stoffes. Demgemäß erhält man

$$k_V = \frac{V}{G}$$

und die Einheitsdimension, wenn das Gramm-Gewichtsstück das Maß der Gewichtseinheit darstellt,

$$k_V = \frac{V}{G} = \frac{\mathrm{C}^3}{\mathrm{G}} = \mathrm{C}^3\,\mathrm{G}^{-1} = 1\,cm^3 \text{ per } grm.$$

Falls das Dyn als Gewichtseinheit genommen wird, erhält man als Einheitsdimension

$$\overset{\circ}{k}_V = \frac{V}{G} = \frac{V}{M \cdot a} = \frac{\mathrm{C}^3}{\mathrm{C}\,\mathrm{G}\,\mathrm{S}^{-2}} = \mathrm{C}^2\,\mathrm{G}^{-1}\,\mathrm{S}^2 = 1\,cm^3 \text{ per } dyn.$$

Wie aus den Einheitsdimensionen hervorgeht, sind spezifisches Gewicht und spezifisches Volumen reziproke Begriffe.

18. Stoff (Materie, Substanz). Masse.

Stoff nennt man dasjenige, woraus Naturkörper — im Gegensatz zu mathematischen oder geometrischen Körpern — bestehen oder gebildet werden und wodurch diese auf unsere Sinne wirken.

Die Bezeichnung *Körper* erfordert allseitige oder räumliche Begrenzung; die Stoffmenge, die einen allseitig begrenzten, beliebigen Raum ausfüllt, stellt also einen Naturkörper dar. Jeder Naturkörper, materieller oder physikalischer Körper, besitzt somit eine gewisse Ausdehnung und ein bestimmtes Gewicht, eine bestimmte Stoffmenge.

Die einfachen Stoffe oder chemischen Grundstoffe, Stoffe, die man bis jetzt in andere Stoffe nicht hat teilen oder zerlegen können, werden chemische Elemente genannt. Aus den einfachen Stoffen baut sich die ganze anorganische und organische Natur auf. Die Stoffmenge im Weltall ist unendlich groß und immer und ewig konstant; Stoffumsetzung oder Stoffumwandlung findet aber immerfort statt, d. h. Stoffverbindungen entstehen und vergehen, ohne daß dabei ein Stäubchen verloren geht oder vernichtet wird.

Das spezifische und relative Gewicht, das spezifische Volumen u. dgl. m. eines Stoffes sind natürlich von der allgemeinen Beschaffenheit und dem jeweiligen Zustand des betreffenden Stoffes abhängig.

Außer demjenigen, was hier als Stoff (wirklicher, wägbarer Stoff) definiert wurde, dachte man sich früher noch eine andere Stoffgruppe, zu welcher Wärme, Licht, Elektrizität, Magnetismus u. dgl. gerechnet wurden. Zu dieser Gruppe gehörten dann die sogen. Imponderabilien (unwägbare Stoffe) und zu jener Gruppe die sogen. Ponderabilien (wägbare Stoffe). Deshalb spricht man noch manchmal von ponderablen und imponderablen Massen. Dann und wann lassen sich Benennungen, wie ponderable und imponderable *Mengen,* mit einigem Vorteil noch gebrauchen.

Masse (M). Die Masse eines Körpers ist die gesamte Stoffmenge dieses Körpers oder, mit anderen Worten, die Gesamtheit seiner Moleküle. Die Größe oder der numerische Betrag einer Masse wird durch Wägung ermittelt. Die Beziehung der Masse eines Körpers zum Gewichte desselben geht aus Artikel 14 hervor.

Die philosophische Definition vom Begriffe der Masse lautet in der Regel

$$M = \frac{G}{g},$$

wobei man Schwere und Gewicht als identische Begriffe betrachtet. Werden aber Schwere und Gewicht als verschiedene Begriffe aufgefaßt, wie dieselben wohl auch tatsächlich sind, so kann jene Gleichung nicht benutzt werden, sondern man müßte schreiben

$$M = \frac{U}{g}$$

oder (vgl. Art. 7)

$$M = \frac{G}{g_P}.$$

Daß hierbei für U und g die an dem jeweiligen Orte geltenden Werte eingesetzt werden sollen, versteht sich von selbst. — Es erscheint aber sehr fraglich, ob es mit dem heutigen hohen Stande der Technik vereinbar sei, die *Masse* mittels der einen oder der anderen der genannten Gleichungen algebraisch zu bestimmen.

Früher oder später wird man wohl doch dazu kommen, die Begriffe *Schwere* und *Gewicht* voneinander zu unterscheiden, und das Gewicht nicht als eine Natureigenschaft des Stoffes oder der Materie zu betrachten, sondern als ein Verhältnis der Schwere bestimmter Stoffmengen oder Körper, bezw. als eine Verhältniszahl zweier Massen, wovon die eine die Masse einer bestimmten Gewichtseinheit, eines bestimmten Gewichtsmaßes, ist. Der Begriff des Gewichtes und derjenige der Masse stehen dagegen einander näher, und man findet mitunter, daß die Bezeichnung *Gewicht* der volkstümliche und die Bezeichnung *Masse* der wissenschaftliche Ausdruck für dieselbe Sache ist.

Als Masseneinheit eignet sich unzweifelhaft diejenige Masse am besten, die im Einheitsmaße des Gewichtes, in dem Einheitsgewichtsstücke, des betreffenden Maßsystems enthalten ist. Dann werden Masse und Gewicht eines Körpers einander stets numerisch gleich sein, und somit wird

$$M = G.$$

Die Einheitsdimension der Masse wird folglich derjenigen des Gewichtes gleich, also **G**.

Im **C. G. S.**-System hat man auch diejenige Masse, die in dem Gramm-Gewichtsstücke enthalten ist, als Masseneinheit gewählt. Das Gramm-Gewichtsstück wird aber in diesem System nicht als Einheitsmaß des Gewichtes betrachtet, denn als solches hat man das Dyn gewählt, d. h. nach dem bisherigen Grundsatz dieses Systems wiegt die Masse des Grammes nicht 1 Gramm, sondern $\mathring{g}$ Dyn. Bezeichnet man die Einheitsdimension der Masse auch hier mit **G**, so wird, wie wir in Artikel 14 gesehen haben, die des Gewichtes $\mathbf{C\,G\,S}^{-2}$.

19. Spezifische Masse oder Dichte (k_M).

Dichtigkeit oder Dichte ist die Stärke der Raumerfüllung durch Materie, Stoff. Die spezifische Masse oder Dichte eines Körpers ist die Stoffmenge in der Volumeneinheit des Körpers, woraus folgt

$$k_M = \frac{M}{V}.$$

Demnach wird die Dimension der Einheit

$$\overset{\circ}{k}_M = \frac{M}{V} = \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{C}^3} = \mathrm{C}^{-3}\,\mathrm{G} = 1\,grm(\text{Stoff})\,\text{per}\;cm^3.$$

Hieraus merkt man gleich, daß spezifische Masse und spezifisches Gewicht sinnverwandte Begriffe sind, obzwar nach dem Grundsatz des philosophischen **C. G. S.**-Systems dem nicht so ist. In diesem System ist nämlich die Einheitsdimension der spezifischen Masse $\mathrm{C}^{-3}\,\mathrm{G}$, die des spezifischen Gewichtes aber $\mathrm{C}^{-2}\,\mathrm{G}\,\mathrm{S}^{-2}$.

20. Relative Dichte (k_m).

Relative Dichte ist das Verhältnis der Dichte oder spezifischen Masse eines Körpers ($k_{M.2}$) zur Dichte oder spezifischen Masse des Wassers ($k_{M.1}$), somit

$$k_m = \frac{k_{M.2}}{k_{M.1}}.$$

Da Zähler und Nenner Größen gleicher physikalischer Natur sind und infolgedessen gleiche Einheitsdimensionen haben, so ergibt sich als Einheitsdimension I. Relative Dichte und relatives Gewicht sind sinnverwandt.

Die in technischen Handbüchern aufgenommenen Zahlenwerte für spezifisches und relatives Gewicht können ebenfalls für spezifische Masse und relative Dichte unmittelbar benutzt werden.

21. Schwere (U) und Schwerkraft (U_F).

Die Schwere ist eine Natureigenschaft des Stoffes, die sich äußert in dem Bestreben eines jeden Körpers, sich in vertikaler Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde oder nach dem Zentrum der irdischen Anziehung zu bewegen. Die Schwere ist nur ein besonderer Fall der Gravitation und bezieht sich speziell auf Körper, die sich im Anziehungsbereich oder in der Barosphäre (von βάρος und σφαῖρα) der Erde befinden. Sie ändert sich von Ort zu Ort, und zwar so, daß sie nach der Höhe hin und von den Polen nach dem Äquator hin abnimmt.

Die Stärke der Schwere eines bestimmten Körpers an einem beliebigen Orte läßt sich numerisch ermitteln, z. B. durch den Druck, welchen der Körper, frei liegend auf einer horizontalen und ruhenden Unterlage, auf diese Unterlage ausübt, oder durch den Zug, welchen der Körper, frei aufgehängt an einem ruhenden Faden, an diesem Faden hervorbringt; sie kann für technische Zwecke durch geeigneten Vergleich mit Gewichten, Gewichtsstücken, und Berücksichtigung des Verhältnisses der Fallbeschleunigung an dem betreffenden Orte zur Fallbeschleunigung in Paris oder zu der an einem anderen Orte, wo die Schwere der benutzten Gewichtseinheit bekannt ist, bestimmt und in Gewichtseinheiten ausgedrückt werden (vgl. Art. 104^{a}). Mittels Federwage, wenn deren Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit genügend wären, würde man die Schwere eines Körpers direkt, d. h. ohne irgend welche Berechnung, messen können, falls die Abgleichung der Wage an einem Orte, wo die Schwere der benutzten Gewichtseinheit bekannt ist, ausgeführt würde.

Es wurde soeben von einer ruhenden Unterlage und einem ruhenden Faden gesprochen, denn herrscht kein ruhender oder statischer Zustand, so entspricht der Druck des Körpers auf der Unterlage oder der Zug am Faden der Schwere des Körpers nicht. Wird die Unterlage, bezw. der Aufhängungspunkt des Fadens, durch eine andere Kraft als diejenige, welche der Schwere des auf der Unterlage ruhenden Körpers entspricht, nach unten in vertikale Bewegung gesetzt, so vermindert sich der Druck auf der Unterlage, bezw. der Zug am Faden. Erfährt die Unterlage bei dieser Abwärtsbewegung eine Beschleunigung gleich der Fallbeschleunigung des betreffenden Ortes, wird der Druck $= 0$. Wird dagegen der Unterlage eine vertikale Bewegung nach oben erteilt, so vermehrt sich der Druck auf der Unterlage.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß man bei der numerischen Bestimmung der Schwere des Körpers die Fallbeschleunigung des jeweiligen Ortes berücksichtigen muß, und es wurde im vorhergehenden angedeutet, wie die Schwere für technische Zwecke bestimmt werden kann. Danach erhält man für die Schwere (U) eines Körpers an einem Orte, wo die Fallbeschleunigung gleich g ist,

$$U = \frac{g}{g_P}\,U_P = \frac{g}{g_P}\,G \text{ Kilogramm u. s. w.}$$

In dieser Gleichung bezeichnen g_P und U_P die Werte in Paris, falls für diesen Ort $U_P = G$ angenommen wird (vgl. Art. 104^a).

In der philosophischen Wissenschaft benutzt man meistens einen dynamischen Ausdruck bei der algebraischen Definition der Schwere. Aus der in Artikel 18 für Masse angeführten Gleichung

$$\mathring{M} = \frac{U}{g} \text{ Gramm}$$

erhält man

$$\mathring{U} = Mg \text{ Dyn}.$$

Dies ist auch die Bestimmungsgleichung der Schwere im **C. G. S.**-System. Da für denselben Ort die Fallbeschleunigung stets der Schwere und Schwerkraft proportional ist, ist es klar, daß die Schwere eines Körpers mittels der letzten Gleichung ganz genau berechnet werden kann, vorausgesetzt, daß man den jeweiligen Wert für g kennt. So z. B. findet man, daß die Schwere eines Körpers, dessen Masse gleich der Einheit ($M = 1$ *grm*) ist,

am Äquator $\mathring{U} = Mg = 1 \times 978{,}10 = 978{,}10$ *dyn,*
in Paris $\mathring{U} = Mg = 1 \times 980{,}96 = 980{,}96$ „
an den Polen $\mathring{U} = Mg = 1 \times 983{,}18 = 983{,}18$ „

sein muß.

Als Dimension der philosophischen Einheit für Schwere ergibt sich

$$\mathring{U} = M \cdot g = \mathrm{G} \cdot \mathrm{CS}^{\;2} = \mathrm{CGS}^{-2} = 1\,dyn.$$

Diese Einheit ist sehr klein und repräsentiert die Schwere der Masseneinheit an einer Stelle, wo die Beschleunigung durch die Schwerkraft gleich 1 *cm* per *sec* per *sec* ist.

Schwerkraft (U_F). Die Schwerkraft ist die Kraftäußerung der Schwere und entspringt also aus der Anziehung, die zwischen der Erde und den Körpern, welche sich im irdischen Anziehungsbereich befinden, besteht. In Bezug auf denselben Körper oder dieselbe Stoffmenge müssen Schwerkraft und Schwere, wenn dieselbe Maßeinheit angewandt wird, natürlich numerisch gleich sein; somit

$$U_F = U = \frac{g}{g_P}\,U_P = \frac{g}{g_P}\,G,$$

in Kilogrammen oder anderen Gewichtseinheiten. Das **wäre** also eine technische Formel zu genauer Berechnung der Schwerkraft, wobei das Ergebnis eine Anzahl technischer Gewichtseinheiten angibt (vgl. Art. 104^b).

Im C. G. S.-System erhält man

$$\overset{\circ}{U}_F = U = Mg \text{ Dyn}$$

und demgemäß die Einheitsdimension **C G S**$^{-2}$ = 1 *dyn*.

22. Mechanische Kraft

(F_m; für Kraft im allgemeinen nur F*).

Jede Ursache, welche bestrebt ist, irgend eine Bewegung oder einen Zustand beim oder im Stoffe oder irgend eine physikalische, chemische oder physiologische Erscheinung zu erzeugen, aufrecht zu erhalten, zu verändern oder zu verhindern, oder welche irgend eine Bewegung oder einen Zustand beim oder im Stoffe oder irgend eine Erscheinung erzeugt, aufrecht erhält, verändert oder verhindert, ist eine Kraft. Da aber jede Zustandsveränderung, sowie jede Erscheinung auf bestimmte Bewegungen zurückzuführen ist, kann man auch den Begriff der Kraft kurz definieren als diejenige Ursache, welche Stoffe (bezw. Körper) bewegt oder zu bewegen sucht (vgl. Art. 104^c). Nach den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft kann man unterscheiden: *physikalische Kräfte,* z. B. mechanische, kalorische, magnetische und elektrische Kraft, die Schwerkraft, die Kohäsionskraft (die Kraft, welche die Moleküle oder die angeblich physikalisch kleinsten Teile eines Körpers zusammenhält), die Adhäsionskraft (die Kraft, mit welcher Körper oder Stoffe bei naher Berührung aneinander haften) und die Elastizitätskraft (die Kraft, welche bei Form- und Volumenveränderung bestrebt ist, die ursprüngliche Form oder das ursprüngliche Volumen, d. i. den dem betreffenden Stoffe für den bestimmten Fall eigenen Gleichgewichtszustand, herzustellen), *chemische Kräfte,* z. B. die Kraft, welche die Atome eines Moleküles oder die angeblich chemisch kleinsten Teile eines Körpers zusammenhält, und *physiologische Kräfte,* z. B. die Muskelkraft bei Menschen und Tieren. — Jede Kraft, welche bei einem mechanischen Vorgang die auszuführende Arbeit unmittelbar leistet oder verrichtet, oder jede Kraft, welche bei einem Körper eine mechanische Lage-, Form- oder Zustandsveränderung unmittelbar herbeiführt oder herbeizuführen sucht, ist eine *mechanische Kraft,* gleichviel, ob sie ihrerseits durch Umsetzungs- oder Umwandlungsvorrichtungen aus einer anderen mechanischen Kraft, aus einer kalorischen Kraft (z. B. aus der Ausdehnungs- oder Zusammenziehungskraft bei Temperaturänderung), aus der Schwerkraft oder aus einer Muskelkraft, einer Elastizitätskraft (z. B. aus der Federkraft), einer elektrischen Kraft u. s. w. entstand.

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

Kräfte können nur durch ihre Äußerungen oder Wirkungen, die sowohl statisch, als auch dynamisch sein können, erkannt werden. Deshalb kann man auch von *statischen* und *dynamischen* Kräften sprechen. Diese äußern sich oder wirken bei dynamischen und jene bei statischen Zuständen. Eine Kraft, die gegen eine andere Kraft, die treibende oder bewegende Kraft, wirkt, nennt man eine *Gegenkraft,* gleichgültig, ob dabei Ruhe (statischer Zustand) oder Bewegung (dynamischer Zustand) herrscht. Eine Kraft, die einmal als Gegenkraft wirkt, kann ein andermal als treibende oder bewegende Kraft wirken, was z. B. mit der Schwerkraft und der Federkraft häufig der Fall ist.

Bei den irdischen Zuständen steht jeder Körper, sei er in Ruhe, sei er in Bewegung, immer unter dem Einfluß der Schwerkraft, und, wenn man von dem Zustande in einem luftleeren Raum absieht, immer in Berührung mit der Masse anderer Körper. Liegt ein Körper auf der Oberfläche der Erde, berührt er nicht nur die Erde, sondern auch die ihn umgebende Luft. Bewegt er sich in einem Gase, in einer Flüssigkeit, in einem lockeren Stoffe oder in einem festen Körper, den er durchdrängen kann, so ist er in Berührung mit dem Stoffe, in welchem er sich gerade bewegt. Bei Lage-, Form- und Zustandsveränderungen irgend eines Körpers oder Stoffes wirkt die Berührung zwischen diesem Körper oder Stoffe und einem andern Körper oder Stoffe stets als eine widerstehende Kraft, welche vornehmlich aus der Kohäsion, aber bisweilen auch zum Teil aus der Adhäsion und Elastizität entsteht, und welche den *mechanischen Widerstand* (F_{m} oder $F_{\mathrm{m.r}}$) darstellt, wogegen die Schwerkraft, je nach der Richtung und Wirkungsweise der treibenden oder bewegenden Kräfte, als eine mit- oder gegenwirkende Kraft auftreten kann. Weil die Schwerkraft auf alle Körper, auf alle Stoffe immerwährend wirkt, spielt sie eine bedeutende Rolle bei mechanischen Vorgängen und Vorrichtungen. Ein Widerstand wirkt wie eine Gegenkraft.

Die Kohäsion oder das Zusammenhalten ist verschieden bei den verschiedenen Stoffen und ändert sich auch mit der Temperatur des Stoffes; so ist z. B. die Kohäsionskraft bei Stahl eine andere als bei Lehm, bei starrem Eisen eine andere als bei flüssigem Eisen, bei Eis eine andere als bei Wasser, und bei Wasser eine andere als bei Wasserdampf. Nach der Stärke der Kohäsionskraft unterscheidet man, wie bekannt, drei Hauptzustände bei einem und demselben Stoffe, die Aggregatzustände: der starre, der flüssige und der gasförmige Zustand, welche durch Temperaturänderung entstehen, und welche bei bestimmten äußeren Verhältnissen einer gewissen Temperaturlage entsprechen. Die Kohäsionskraft nimmt in der Regel mehr oder weniger regelmäßig bei wachsender Temperatur ab und bei verminderter Temperatur zu; beim Übergang von einem Aggregatzustand zu einem anderen verändert sie sich sehr rasch und plötzlich, sonst meistens langsam und allmählich. — Es erhellt hieraus, daß der mechanische Widerstand und somit auch die Kraft, die den Widerstand überwinden soll, vom Zustande (bezw. von der Temperatur) der miteinander in Berührung kommenden Stoffe abhängig sein muß. Man darf aber hierbei nicht vergessen, daß bei der Überwindung eines Widerstandes Wärme örtlich erzeugt wird, wobei kalorische Kräfte entstehen und den Vorgang in der einen oder der anderen Weise beeinflussen; außerdem kann hinzutretende Adhäsion und Elastizität auf den Vorgang erheblich einwirken.

Wenn sich ein Körper aus einer beliebigen Veranlassung irgendwo in Ruhe befindet, einerlei, ob in einem gasförmigen, flüssigen, lockeren oder festen umgebenden Stoffe, von dem wir annehmen, daß er selbst in Ruhe ist und sich dem fraglichen Körper innig anschließt, und daß er den Körper weder physikalisch, noch chemisch verändert, so befindet sich nicht nur der fragliche Körper im Gleichgewicht, sondern auch der ihn umgebende Stoff. Bewegt sich ein Körper, ohne daß er seine Lage im Raume verändert (z. B. ein um eine feste Achse sich drehender Körper: ein Schwungrad o. dgl.), so entsteht in dem umgebenden Stoffe eine Spannung, die sich mehr oder weniger weit in diesem Stoffe fortpflanzt, und, wenn der Körper sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit dreht, tritt auch hier in dem umgebenden Stoffe eine Art Gleichgewicht ein, indem die treibende, vorhandenen Widerstand überwindende Kraft der im umgebenden Stoffe entstandenen Spannkraft das Gleichgewicht hält. Für den Fall, daß ein mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich bewegender Körper seine Lage im Raume verändert, indem er sich durch einen überall gleichartigen Stoff, der gasförmig, flüssig, locker oder fest sein mag, bewegt, wird freilich das Gleichgewicht in dem umgebenden Stoffe immerfort gestört, Spannungen entstehen und vergehen, und wo der Körper durchgelaufen, treten alsbald neue Gleichgewichtsverhältnisse ein. Je nach der Geschwindigkeit und Beschaffenheit des in Bewegung begriffenen Körpers und dem Zustande des umgebenden Stoffes pflanzt sich die Gleichgewichtsstörung und Spannung mehr oder weniger weit von der Bahn des durchlaufenden Körpers fort. — Eine Kraft, die einen Körper in Bewegung bringen oder seine Geschwindigkeit verändern soll, muß also zunächst im stande sein, das in dem umgebenden Stoffe bestehende Gleichgewicht zu stören; hierzu braucht die Kraft eine gewisse Zeit. Je kürzere Zeit die Kraft braucht, um einen bestimmten Körper durch irgend einen Stoff hindurch zu treiben, desto weniger weit dehnt sich die Gleichgewichtsstörung und Spannung ringsum den vom Körper eingeschlagenen Weg aus. Die Beschaffenheit der Oberfläche und die Form (insbesondere die des vorangehenden Teiles) des Körpers, sowie auch die Größe seines zur Bewegungsrichtung winkelrechten Querschnittes spielen eine große Rolle in Bezug auf die Ausdehnung der Gleichgewichtsstörung; Eigenschaften, die ja auch die Stärke des mechanischen Widerstandes beeinflußen. Ein im Stoffe bestehendes Gleichgewicht beruht auf vorhandenen inneren Kräften, die aber ihrerseits von anderen Kräften (der Schwerkraft, ferner mechanischen, chemischen, kalorischen, magnetischen u. s. w. Kräften) herrühren und beeinflußt werden. Obgleich ein Stoff infolge der in seinem Innern wirkenden Kräfte gewissermaßen bestrebt ist, in dem Gleichgewicht, d. i. in der Lage oder in dem Zustand, worin er sich gerade befindet, zu beharren, muß er doch gewisse Lage- oder Zustandsveränderungen erleiden, sobald genügend große äußere Kräfte auf ihn einwirken. In Wirklichkeit kann weder ein Stoff, noch eine Kraft ewig in einer bestimmten Form bestehen, denn aus dem Werden und Vergehen ersieht man, daß die Kräfte in Wechselwirkung stehen, und daß sie den Stoff in fortdauernder Bewegung und Umwandlung erhalten, obwohl hierbei die Veränderungen mitunter so langsam und so allmählich vor sich gehen, daß wir sie mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können. Die Schwerkraft bildet vielleicht hiervon eine Ausnahme, denn sie scheint immer in derselben Form zu bestehen und zu wirken und geht wahrscheinlich nicht in andere Kraftformen über.

Wenn eine Kraft einen Körper in Bewegung setzt und alsdann mit unveränderter Stärke auf denselben weiter wirkt, so ist es von der Stärke und Wirkungsweise auftretender Gegenkräfte und von dem vorhandenen Widerstand abhängig, ob die Geschwindigkeit auch eine gleichförmige (unveränderliche, konstante) wird, oder ob sie beschleunigt, verzögert oder mehr oder weniger rasch vollständig aufgehoben wird. Falls es keine Gegenkräfte und keinen Widerstand gäbe, würde ein von irgend einer Kraft nur in Bewegung gesetzter Körper ohne weitere Einwirkung bewegender oder treibender Kräfte sich mit unveränderlicher Geschwindigkeit ins Unendliche bewegen. Im irdischen Bereich ist aber ein solcher Fall nirgends zu finden, denn hier wird stets die Bewegung eines sich selbst überlassenen Körpers einerseits durch vorhandene Widerstände, die infolge der Berührung mit umgebenden Stoffen entstehen, und andrerseits durch die Einwirkung der Schwerkraft sofort nach dem Aufhören der treibenden Kraft verzögert und bald gänzlich aufgehoben. Aber im Weltall findet man an den Planeten Beispiele von Bewegungen, die seit undenklichen Zeiten bestehen. Ob überhaupt oder inwiefern die Bewegung der Planeten eine unveränderliche ist, läßt sich wohl kaum mit absoluter Sicherheit bestimmen. Man nimmt, wie bekannt, an, daß der ganze Weltraum mit *Etwas,* das man *Äther* (auch Lichtäther, Weltäther u. s. w.) nennt, erfüllt ist, und daß dieser auch alle Körper und Stoffe durchdringt, wobei er den Raum zwischen den Molekülen einnimmt. Der Äther ist freilich vorläufig nur als ein philosophisches Hilfsmittel anzusehen, ein noch rätselhaftes Etwas, das man ersonnen hat, um gewisse Theorien aufbauen und verschiedene Erscheinungen erklären zu können; aber dessenungeachtet ist es keineswegs unmöglich, daß in Wirklichkeit auch etwas derartiges besteht. Man denkt sich mitunter den Äther als einen äußerst feinen, sehr elastischen *Stoff* von einer bestimmten mechanischen Struktur, und neuerdings glaubt man sogar den fraglichen Stoff (Ätherion) gefunden zu haben. Demnach müßte man mit einem mehr oder weniger konkreten oder materiellen Etwas zu tun haben, und sollte das in Wirklichkeit der Fall sein, so würden die Planeten bezw. ihre kleinsten Teile mit diesem Etwas in Berührung kommen und die Geschwindigkeit könnte dann nicht für immer dieselbe bleiben, sondern sie müßte auf Grund der erwähnten Berührung, die einen Widerstand, wenn auch noch so klein, darstellt, mehr oder weniger abnehmen; d. h. die Planeten würden immer mehr Zeit für einen Umlauf bezw. für eine Umdrehung gebrauchen, es sei denn, daß neue Kräfte immerfort zukämen.

Die in einem in Betracht gezogenen Falle der Ruhe oder der Bewegung wirkenden (treibenden) Kräfte und Gegenkräfte (widerstehenden Kräfte) halten einander das Gleichgewicht, wenn sie in den obwaltenden statischen oder dynamischen Zuständen keine Veränderungen hervorrufen.

In der Technik wird die Stärke der Wirkung einer Kraft durch Vergleich mit der Wirkung eines Gewichtes oder Gewichtssatzes numerisch bestimmt und demnach in Gewichtseinheiten ausgedrückt. Ein solcher Vergleich ist immer möglich und meistens sehr einfach, um so mehr als sich eine Kraft entweder als Druck, oder auch als Zug äußert, und die Stärke eines Druckes oder Zuges stets mit der Schwere einer geeignet gewählten und angebrachten Last, welche selbstredend auch aus Gewichten bestehen kann, sich vergleichen läßt, dadurch daß man zwischen der Druck- oder Zugkraft und der auf die benutzte Last bezüglichen Schwerkraft Gleichgewicht herstellt. Indem man also die Wirkung einer mechanischen Kraft einer bestimmten Schwerkraftwirkung gleichsetzt, erhält man, wenn die auf die erwähnte Last bezogene Schwere und Schwerkraft mit U und U_{F} bezeichnet und das Gewicht der Last durch G ausgedrückt wird, für die mechanische Kraft

$$F_{\mathrm{m}} = U = U_{\mathrm{F}} = \frac{g}{g_{\mathrm{P}}} G .$$

Der Betrag oder die Stärke der mechanischen Kraft wird durch die Benutzung dieser Formel in Gewichtseinheiten ausgedrückt, und man kann mittels dieser Formel den numerischen Wert einer Kraft mit größter Genauigkeit berechnen. Bei den meisten technischen Berechnungen ist es indessen durchaus unnötig, die örtlichen Veränderungen in der Schwerkraft zu berücksichtigen, sondern man kann annehmen, daß die Wirkung der Schwerkraft auf die für den betreffenden Fall gefundene Gleichgewichts- (Vergleichungs-) Last allerwärts dieselbe ist, d. h. man kann deshalb annehmen, daß $g = g_P$ ist. Dann hat man einfach

$$F_m = U = U_F = G$$

(vgl. Art. 104^c).

Die im obigen dargelegte Auffassung von Kraft entspricht den philosophischen Anschauungen allerdings nicht. Im **C. G. S.**-System wird der Kraftbegriff *dynamisch* aufgefaßt, und benutzt man das schon mehrmals erwähnte Dyn als Krafteinheit, die definiert wird als diejenige Kraft, welche in einer Sekunde einer *Gramm-Masse* eine Geschwindigkeitsänderung gleich einem Centimeter per Sekunde erteilt. Die algebraische Definition der Kraft nach philosophischer Anschauung lautet

$$\overset{\circ}{F}_m = M\frac{v}{t} = Ma,$$

und die Dimension der Einheit ist $\mathbf{C\,G\,S^{-2}} = 1$ *dyn*. Es leuchtet sofort ein, daß diese kleine Einheit nur für philosophische Kraftmessungen und Berechnungen Anwendung finden kann. Für größere Kräfte hat man Einheiten vorgeschlagen, die man Kilodyn (= 1000 *dyn*) und Megadyn (= 1000000 *dyn*) benannt hat.

Es wird zuweilen behauptet, daß man in dem Maßsystem, dessen man sich in der heutigen Technik bedient, eine Kraft als Grundeinheit benutze. Diese Ausstellung an dem sogen. technischen Maßsystem (von verschiedenen Seiten auch das *konventionelle* System, das *Gravitationssystem*, ja sogar auch das *irdische* System genannt) ist aber nicht stichhaltig, denn man hat ein Gewichtsstück oder eine Gewichtseinheit als Grundmaß oder Grundeinheit gewählt, und die Gewichtseinheit benutzt man alsdann bei der numerischen Bestimmung von Kraft, Schwere u. s. w. Die Stärke mechanischer Kräfte wird wohl durch Vergleichung mit Schwerkraftwirkungen ermittelt, aber sowohl diese als jene können nur auf die eine oder die andere Weise mittels Gewichten numerisch bestimmt werden. In der heutigen Technik ist das Kilogramm die Gewichtseinheit, und wird die Stärke einer Kraft deshalb auch in Kilogrammen ausgedrückt. In dem jetzt gebräuchlichen **C. G. S.**-System hat man, wie aus dem Vorherigen ersichtlich, das Dyn als Gewichts- und Krafteinheit gewählt; nur muß man sich hierbei vergegenwärtigen, daß Gewicht in diesem und jenem System zweierlei ist.

23. Mechanische Arbeit

(W_m; für Arbeit im allgemeinen nur W*).

Überall, wo eine Kraft eine andere, widerstehende Kraft, eine Gegenkraft, oder einen Widerstand überwindet, wird eine Arbeit ausgeführt oder verrichtet. Unter dem Ausdrucke *Arbeit* im Sinne der Naturwissenschaft ist eigentlich nur die mit Bewegung verbundene Tätigkeit einer Kraft zu verstehen, aber bisweilen benutzt man denselben Ausdruck auch noch für das Ergebnis, für das, was die wirkende Kraft geleistet hat. Das Verrichten einer Arbeit oder das Arbeiten besteht im Hervorbringen irgend einer Lage-, Form- oder Zustandsveränderung bei dem im betreffenden Vorgang in Frage kommenden Stoffe oder was es sonst sein mag. Soll eine Kraft eine Arbeit verrichten oder arbeiten können, muß sie also imstande sein, irgend eine Bewegung zu erzeugen, aufrecht zu erhalten oder zu verändern. Indem die Kraft arbeitet, wird sie in ihrer gegenwärtigen Form verbraucht und in eine oder mehrere andere Kraftformen überführt oder umgewandelt. Es gibt natürlich sehr viele Formen von Arbeit, die jedoch in drei Hauptgruppen eingeteilt werden können: *physikalische, chemische* und *physiologische* Arbeit.

Die *mechanische* Arbeit, die Arbeit im Sinne der Mechanik, gehört der physikalischen Gruppe der Arbeit an und kommt bei jedem *mechanischen* Vorgang vor. Sie besteht vornehmlich im Bewegen, Verschieben, Heben und Senken, sowie auch im mechanischen Zerteilen, Zusammendrücken, Ausdehnen, Formverändern, Mischen oder in einem sonstigen mechanischen Verändern der Körper oder Stoffe. Die Kraft, welche eine mechanische Vorrichtung bewegt (treibt) oder einen mechanischen Vorgang bewirkt oder verursacht und somit die betreffende mechanische Arbeit mehr oder weniger mittelbar verrichtet, kann eine verschiedene sein, nämlich eine kalorische oder elektrische Kraft, eine Muskel-, Wasser-, Wind- oder Federkraft, die Schwerkraft u. s. w. Man kann aber auch sagen, daß jede *mechanische* Arbeit unmittelbar von einer *mechanischen* Kraft verrichtet wird, wenn man die Kraftform, die sich aus den bewegten Massen der betreffenden Vorrichtung entwickelt, und die sich insbesondere an der arbeitenden Stelle der Vorrichtung oder des betreffenden Vorgangs äußert, als mechanische Kraft bezeichnet. Wenn eine mechanische Arbeit ausgeführt wird, muß die treibende oder mittelbar wirkende Kraft, gleichgültig, welcher Art sie sei, zuerst irgend welche Massen (Maschinenteile, Körper oder Körperteile lebender Wesen, Werkzeuge, Geräte u. s. w.) in Bewegung setzen und durch die Vermittelung dieser Massen (Fortpflanzung von mechanischer Energie!) wird alsdann die treibende oder bewegende Kraft in eine bestimmte andere Kraftart oder Kraftform, mechanische Kraft, umgewandelt, welche nun bei gleichbleibender Vorrichtung immer dieselbe Arbeitswirkung behält, wie man die Art oder Form der treibenden Kraft auch ändern mag, vorausgesetzt, daß die benutzten Kräfte in ihrer Antriebswirkung gleichwertig sind. Nachdem die treibende Kraft zu wirken aufgehört hat, äußert sich oder arbeitet die mechanische Kraft noch eine kürzere oder längere Zeit weiter infolge der den bewegten Massen der Vorrichtung vorher zugeführten Kräfte. Da alle Körper, die sich innerhalb des Bereiches der Erde befinden, stets mit anderen Körpern oder Stoffen in Berührung sind, so entsteht immer Reibung (man hat es aber dabei auch mit einer Gleichgewichtsstörung und Lageveränderung in den umgebenden Stoffen zu tun), und deshalb beansprucht allein eine horizontale Verschiebung, eine vertikale Hebung oder Senkung, sowie eine Drehung oder überhaupt irgend eine Lageveränderung eines Körpers, der sonst unversehrt bleibt, eine gewisse Kraft, die dann selbstverständlich auch eine entsprechende mechanische Arbeit verrichtet. Führt der bewegte Körper ein Werkzeug, Gerät o. dgl., womit eine sogen. nützliche mechanische Arbeit verrichtet werden soll, bestehend in einem gewünschten Zerteilen, Zusammendrücken, Ausdehnen, Formverändern, Mischen u. s. w. bestimmter Körper oder Stoffe, so muß natürlich die treibende Kraft, die Antriebskraft, noch größer sein. Wie man sieht, hat man es hier allenthalben mit einer mechanischen Veränderung der den bewegten Körper (und die mit demselben in Verbindung stehenden Werkzeuge u. s. w.) umgebenden und in Bearbeitung befindlichen Stoffe in Bezug auf Lage, Form oder Zustand zu tun, und die hierbei auftretenden widerstehenden Kräfte stellen in ihrer Gesamtheit für den betreffenden Fall den *mechanischen Widerstand* dar, welcher demnach hauptsächlich der Kohäsion, Adhäsion und Elastizität entspringt. Außer der eigentlichen, vorgesehenen Antriebskraft wirken bei mechanischen Vorgängen zuweilen andere Kräfte mit. Insbesondere die Schwerkraft, deren Einfluß sich ja auf alle Körper erstreckt, kann eine große Rolle spielen, indem sie, je nach der Richtung und Wirkungsweise der

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

Antriebskraft, als eine mit- oder gegenwirkende Kraft betrachtet werden kann. Überall, wo die Schwerkraft die Reibung vergrößert, wirkt sie selbstredend als eine Gegenkraft. — Es erhellt aus dem Gesagten, daß die Kraftwirkung an der Arbeitsstelle einer mechanischen Vorrichtung numerisch kleiner sein muß als die Kraftwirkung an der Antriebsstelle, denn die treibende Kraft wird ja zum Teil durch Reibung verbraucht, d. i. in kalorische und andere Kräfte umgewandelt. Nehmen wir beispielsweise an, daß eine mechanische Vorrichtung (ein Aufzug oder irgend etwas anderes) mit Elektrizität angetrieben wird, so wird die geleistete mechanische Arbeit stets numerisch kleiner ausfallen als die zugeführte elektrische Arbeit. Aus dem Gesagten ergibt sich auch deutlich die Unmöglichkeit eines *perpetuum mobile*, eine mechanische Vorrichtung, die, einmal in Gang gebracht, ohne fernere Antriebskraft imstande sein sollte, immerwährend Arbeit zu verrichten.

Als einfaches Beispiel mechanischer Arbeit kann man das Heben und Senken von Lasten anführen. Will ein Mensch mit seiner Hand eine Last heben, so muß die Muskelkraft eine Muskelarbeit verrichten und zunächst die Masse der Hand in Bewegung setzen und dadurch eine neue Kraftform, mechanische Kraft (F_m), hervorbringen, welche alsdann die Last hebt und somit eine mechanische Arbeit leistet, indem sie einesteils den vorhandenen mechanischen Widerstand ($F_{m.r}$) und anderenteils die Gegenwirkung der Schwerkraft (U_F) überwindet. Man hat also

$$F_m = F_{m.r} + U_F .$$

Wird die Last in gewisser Höhe frei gelassen, fällt sie vertikal abwärts und zwar auch diesmal durch die Wirkung einer mechanischen Kraft, welche aber in diesem Falle durch die Schwerkraft hervorgerufen wird. Ist oder wird der mechanische Widerstand sehr groß, was von dem die Last umgebenden oder derselben im Wege liegenden Stoffe abhängig ist, so kann es vorkommen, daß die Schwerkraft die Last nicht allein nach unten treiben kann. Erhält die Schwerkraft aber Hilfe dazu durch irgend eine andere Kraft F, so ist

$$U_F + F = F_{m.r} .$$

Der Betrag einer Arbeit (W) ist offenbar der Stärke der arbeitenden Kraft (F), ferner der Geschwindigkeit (v), mit welcher die Kraft arbeitet, und der Zeit (t), während welcher die Kraft arbeitet, direkt proportional. Daher allgemein

$$W = F v t = F l,$$

woraus hervorgeht, daß eine Arbeit dem Produkt aus der arbeitenden Kraft und dem Wege (l), längs dessen der Angriffspunkt der Kraft sich bewegt, gleich ist. Wirkt die Kraft nicht in der Richtung des Weges, so darf selbstverständlich nicht die ganze Kraft eingesetzt werden, sondern nur eine in der Wegrichtung fallende Komponente der Kraft. Bildet die Kraftrichtung mit der Wegrichtung einen Winkel (β), hat man

$$W = F l \cos \beta .$$

Gleichwie sich eine Kraft durch Vergleich mit der Wirkung der Schwerkraft auf eine bestimmte Last in einfachster und anschaulichster Weise beurteilen läßt, so kann auch eine Arbeit beurteilt werden, indem eine Last gegen die Schwerkraftwirkung nach oben gehoben wird. Wird die Last durch eine konstante (mechanische) Kraft F_m eine Strecke l (Hubhöhe) gehoben, so verrichtet die Kraft hierbei eine mechanische Arbeit gleich

$$W_m = F_m l .$$

Die angeführten drei Gleichungen haben Gültigkeit sowohl für das technische, als auch für das **C. G. S.**-System.

Die Einheitsdimension im **C. G. S.**-System wird

$$\mathring{W}_m = F_m \cdot l = \mathbf{C\,G\,S}^{-2} \cdot \mathbf{C} = \mathbf{C}^2\,\mathbf{G\,S}^{-2} = 1\ dyn \cdot cm.$$

Dieser Einheit hat man den Namen *Erg* (*erg* — vom griechischen ἔργον) gegeben. Es bezeichnet 1 *erg* diejenige Arbeit, die eine Kraft von 1 *dyn* auf einer Weglänge von 1 *cm* verrichtet.

In der Technik wird eine Arbeit gewöhnlich in Kilogramm · Metern (*kg · mtr* oder *kg · m* oder auch *m · kg*) ausgedrückt; es ist 1 *kg · mtr* $= 10^5$ *grm · cm* $= 10^5\ \mathring{g}$ *erg*.

24. Mechanische Leistung oder mechanischer Effekt

(P_m; für Leistung im allgemeinen nur P*).

Um die wirkliche Arbeitsfähigkeit einer Kraft beurteilen zu können, muß auch die Zeit, welche die Kraft braucht, um eine bestimmte Arbeit auszuführen, berücksichtigt werden. Die Arbeit, die eine Kraft in der Zeiteinheit verrichten kann, dient als Wert der Arbeitsfähigkeit der betreffenden Kraft und wird *Leistung*, *Effekt* oder auch *Arbeitsleistungsfähigkeit* genannt. Demzufolge hat man im allgemeinen

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

$$\boldsymbol{P} = \frac{\boldsymbol{W}}{t}$$

und für *mechanische* Leistung

$$\boldsymbol{P}_{\mathrm{m}} = \frac{\boldsymbol{W}_{\mathrm{m}}}{t}\,.$$

Die Dimension der Einheit ist deshalb

$$\mathring{\boldsymbol{P}}_{\mathrm{m}} = \frac{\boldsymbol{W}_{\mathrm{m}}}{t} = \frac{\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2}}{\mathbf{S}} = \mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-3} = \mathbf{1}\ \mathit{erg}\ \text{per}\ \mathit{sec}.$$

Diese Einheit eignet sich offenbar nur für philosophische Arbeiten und Berechnungen, denn für praktische Zwecke ist sie zu klein; ein *kg · mtr* per *sec* $= 10^5$ *grm · cm* per *sec* ist nämlich gleich $10^5\,\mathring{g}$ *erg* per *sec.* Ferner ist 1 HP_{m} oder 1 PS_{m} (= 1 metrische Pferdekraft oder Pferdestärke = 75 *kg · mtr* per *sec*) $= 75 \times 10^5\,\mathring{g}$ *erg* per *sec* und 1 HP_{e} oder 1 PS_{e} (= 1 englische Pferdekraft oder Pferdestärke = 550 englische Pfund · Fuß per Sekunde) $\cong (550 \cdot 0{,}4536 \cdot 0{,}3048)\ 10^5\,\mathring{g} \cong 76 \times 10^5\,\mathring{g}$ *erg* per *sec.* Setzt man nun den üblichen Durchschnittswert 981 für $\mathring{g}$ in diese Ausdrücke ein, ergibt sich

$$1\ \mathsf{HP}_{\mathrm{m}} = 1\ \mathsf{PS}_{\mathrm{m}} = 735{,}75 \times 10^7 \cong 736 \times 10^7\ \mathit{erg}\ \text{per}\ \mathit{sec}$$

und

$$1\ \mathsf{HP}_{\mathrm{e}} = 1\ \mathsf{PS}_{\mathrm{e}} = 745{,}56 \times 10^7 \cong 746 \times 10^7\ \mathit{erg}\ \text{per}\ \mathit{sec}\,.$$

Für größere Beträge der Arbeit und der Leistung hat man wohl auch durch Vervielfachung des Ergs größere Einheiten vorgeschlagen, wobei man die Präfixe Kilo und Mega (Meg) benutzt. Dann wird z. B. 1 $\mathsf{HP}_{\mathrm{m}} = 7{,}5\,\mathring{g}$ oder, falls man setzt $\mathring{g} \cong 981$, $\cong 7360$ und 1 $\mathsf{HP}_{\mathrm{e}} \cong 7460$ *megerg* per *sec.* Auf dem *congrès international de mécanique appliquée* im Jahre 1889 wurde als Einheit für mechanische Leistung 100 *kg · mtr* per *sec* (1 *poncelet* benannt — nach Jean Victor Poncelet) vorgeschlagen. Leider hat diese geeignete (Dezimal-) Einheitsgröße nicht viel Beachtung gefunden. Übrigens ist der Ausdruck *Pferdekraft* oder *Pferdestärke* eine Ungereimtheit, denn er bezieht sich ja nicht auf eine Kraft, bezw. eine Stärke, sondern auf eine Leistung. Will man notwendigerweise einen ähnlichen Ausdruck behalten, so müßte man wenigstens *Pferdeleistung* (PL) sagen.

25. Mechanische Energie (*K*).

Energie im weiteren Sinne ist eine dem Stoffe oder jeder physikalischen, chemischen oder physiologischen Erscheinung innewohnende Kraftentwickelungsfähigkeit. Unter dem Ausdruck *mechanische Energie* versteht man die einem Körper auf Grund seiner zufälligen Lage oder seiner zufälligen Bewegung innewohnende Fähigkeit (ganz gleich, wie diese entstanden ist), *mechanische Kräfte* zu entwickeln, also Kräfte, die in mechanischer Weise arbeiten oder imstande sind, *mechanische Arbeit* unmittelbar zu verrichten.

Es gibt sonach verschiedene Formen oder Arten von Energie: mechanische, magnetische, chemische, animalische u. s. w. Aus einer Energieform können durch Umsetzung oder Umwandlung eine oder mehrere andere Energieformen entstehen. Unter dem Ausdruck *allgemeine Energie* oder *Weltall-Energie* versteht man die Gesamtheit der Energie im Weltall. Die Menge der Energie im Weltall ist von Ewigkeit her konstant gewesen und wird auch ewig so bleiben, aber Energieumwandlung oder Energieumsetzung findet immerfort statt. Die Menge dieser Energie ist, wie die Stoffmenge im Weltall, unendlich groß. Überall, wo irgend eine physikalische, chemische oder physiologische Erscheinung oder Bewegung vorkommt, überall, wo Stoff oder überhaupt irgend ein konkretes oder materielles Etwas vorhanden ist, bestehen Kräfte, dynamisch oder statisch wirkend, und wo Kräfte sind, da ist auch Energie in irgend einer Form vorhanden. Eine bestimmte Kraftart entspringt aus der entsprechenden Energieart, folglich mechanische Kräfte aus mechanischer Energie, elektrische Kräfte aus elektrischer Energie, Muskelkräfte aus Muskelenergie u. s. w., und eine bestimmte Kraftart verrichtet *unmittelbar* eine entsprechende Art Arbeit, d. h. eine mechanische Kraft verrichtet eine mechanische Arbeit, eine elektrische Kraft eine elektrische Arbeit u. s. w.

Nach den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft und nach der Art der wirkenden Kräfte können die verschiedenen Energieformen in drei Hauptgruppen zusammengefaßt werden, nämlich: *physikalische, chemische* und *physiologische* Energie. Bei physikalischen (mechanischen, akustischen, kalorischen, optischen, elektrischen oder magnetischen) Vorgängen gehen die *unmittelbar* arbeitenden Kräfte aus physikalischer (mechanischer, akustischer, kalorischer, optischer, elektrischer oder magnetischer) Energie hervor, und werden, indem sie eine physikalische (mechanische, akustische, kalorische, optische, elektrische oder magnetische) Arbeit verrichten, in ihrer gegenwärtigen Form verbraucht und in eine oder mehrere andere Kraftformen (physikalische und chemische, sowie auch, wenn gewisse Naturvorgänge in Betracht gezogen werden, physiologische) überführt, wobei selbstverständlich auch die gegenwärtige Energieform in eine oder mehrere andere, der neuen Kraftform entsprechende Energieformen übergeht, je nach den obwaltenden Umständen. Bei chemischen und physiologischen Vorgängen hat man ähnliche Vorkommnisse; es findet sohin bei jedem Vorgang, sei er physikalischer, sei er chemischer oder sei er physiologischer Natur, Energieumwandlung statt. — Die Attraktions- oder Massenanziehungs-Energie, die Energie, woraus die Schwerkraft und Schwere (bezw. die Gravitationskraft und Gravitation) entstehen, scheint von den anderen Energiearten insofern verschieden zu sein, daß sie sich nicht in andere Energieformen umwandelt, sondern in ihrer bestimmten Form und Menge bei gleichbleibender Masse konstant bleibt. Hier würde man vielmehr von einer Energieteilung oder Energietrennung sprechen können, denn wird eine Masse geteilt, so tritt wahrscheinlich auch eine völlig entsprechende Teilung der Anziehungs-Energie der Masse ein, ohne daß die Natur der Energie sich irgendwie ändert. Jedoch darf man nicht übersehen, daß in Bezug auf die Massenanziehung verschiedene andere Annahmen gemacht werden können, die auch für sich sprechen.

Ein Körper oder Stoff kann sowohl *freie*, als auch *gebundene* (*verborgene, latente*) Energie aufweisen. Die *freie* Energie eines Körpers ist dadurch zu erkennen, daß die aus ihr entspringenden Kräfte stetig merkbar sind oder stets nach außen wirken. Die *gebundene* Energie hat keine immer nach außen wirkenden, sondern in der Masse des Körpers gebundene oder verborgene Kräfte, die aber durch gewisse äußere Einwirkung auf den betreffenden Körper frei gemacht werden und alsdann nach außen wirken können, Arbeit verrichten und freie Energie erzeugen. Gebundene Energie findet man in Steinkohle, Holz, Sprengstoffen u. s. w.

Je nachdem die Äußerung oder Wirkung der aus der in Betracht gezogenen freien Energie entspringenden Kraft eine statische oder dynamische ist, oder je nachdem der Körper oder Stoff, in welchem sich die Energie befindet, in Ruhe oder Bewegung ist, nennt man die Energie **a.** *potentielle* ($\boldsymbol{K}_p$) oder **b.** *kinetische* ($\boldsymbol{K}_k$) Energie. Die kinetische Energie ist stets eine Energie der Bewegung; man hat aber zweierlei potentielle Energie, nämlich: Energie der Lage und Energie des Zustandes.

Potentielle *mechanische* Energie ist diejenige Energie, die ein Körper vermöge seiner zufälligen Lage besitzt, und kinetische *mechanische* Energie ist diejenige Energie, die ein Körper vermöge seiner zufälligen Bewegung besitzt. Diese wird auch *mechanische Energie der Bewegung* und jene *mechanische Energie der Lage* benannt. Ein geeignetes deutsches Wort für kinetische mechanische Energie wäre vielleicht *Wucht.*

In der Mechanik versteht man unter dem Ausdruck *Energie* meistens nur die mechanische Arbeitsfähigkeit in Bewegung gesetzter und alsdann sich selbst überlassener Massen; und die dabei zum Vorschein kommende und mechanische Arbeit verrichtende mechanische Kraft oder mechanisch arbeitende Kraft nennt man *lebendige Kraft.* Diese Kraftart kommt aber keineswegs nur bei sich selbst überlassenen Massen vor, wie man sich mitunter die Sache vorstellt, sondern bei allen in Bewegung begriffenen Massen, mag nun die treibende oder Bewegung erteilende Kraft zu wirken aufgehört haben oder nicht. Lebendige Kraft ist also nichts anderes als eine dynamisch wirkende mechanische Kraft. Nach und nach hat sich der Begriff von Energie erweitert und heutzutage so verallgemeinert, daß der Ausdruck *Energie* allerwärts, wo Kräfte beliebiger Art bestehen oder zum Vorschein kommen, gebraucht wird.

Kraft und Energie, sowie auch Arbeit und Energie werden bisweilen verwechselt. Zwar sind Arbeit und Energie in gewisser Beziehung nahe verwandt, denn bei jeder Energieumwandlung arbeitet eine Kraft und verrichtet eine Arbeit, und aus dieser Arbeit ergibt sich gewissermaßen die neue Energieform, bezw. die neuen Energieformen, welche demnach nicht nur der vorherigen Energieform, sondern auch der bei der betreffenden Umwandlung vorkommenden Arbeit gleichwertig sein müssen. — Eine Energiemenge oder vielmehr die Wirkung einer bestimmten Energiemenge läßt sich am einfachsten beurteilen und numerisch bestimmen nach demselben Prinzipe, das bei der Bestimmung der Arbeit benutzt wird; Energie und Arbeit werden auch mit demselben Maße gemessen.

Überall in der Natur und bei allen in Tätigkeit befindlichen technischen Vorrichtungen äußern sich Kräfte und finden Energieumwandlungen statt. Ein vielseitiges Beispiel technischer Energieumwandlung findet man in einer elektrischen Anlage, die mit Dampf getrieben wird und Elektrizität zu verschiedenen Zwecken liefert. Die Steinkohle besitzt schon in der Grube eine bestimmte, aufgespeicherte Menge gebundener chemischer Energie, welche bei der Verbrennung in kinetische kalorische Energie umgewandelt wird, die nun das Wasser im Kessel erwärmt und Dampf bildet. Aus der kalorischen Energie entspringen kalorische Kräfte, die das Bestreben haben, den Dampf auszudehnen und sonach auch dessen Masse in Bewegung zu setzen, indem sie die widerstehenden Kräfte (die Festigkeit der Wände des Kessels, der Dampfrohre u. s. w. und, falls der Dampf zu der Dampfmaschine Zutritt hat, die Belastung des Kolbens) zu überwinden suchen. Infolge dieser widerstehenden Kräfte kann der erzeugte Dampf nicht nach Belieben, sondern nur in dem Maße, das durch die Stellung des Absperrventils und insbesondere der Steuerung geregelt wird, entweichen; und durch diese Zwangslage wird der Dampf, der, wie bekannt, sehr elastisch ist, im Dampfraum des Kessels mehr oder weniger zusammengedrückt, und eine bedeutende Energiemenge (kalorische Energie und Elastizitäts-Energie) speichert sich in einem verhältnismäßig kleinen Raum auf. Im Zylinder der Dampfmaschine kann sich der Dampf ausdehnen, und die ihm innewohnenden Kräfte (kalorische Kraft und Elastizitäts-Kraft) bringen hier seine Masse in Bewegung, wodurch die beweglichen Massen der Dampfmaschine und die mit ihnen auf die eine oder die andere Art verbundenen beweglichen Massen des Elektrogenerators auch in Bewegung gebracht werden. Hierdurch wird die im Dampfe enthaltene kalorische Energie und Elastizitäts-Energie oder, kurzweg in einem Worte, die *Dampfenergie* in mechanische Energie umgewandelt, welche alsdann im Elektrogenerator in elektrische Energie umgewandelt wird. Durch elektrische Leitungen kann die elektrische Energie nun weiter geführt und beispielsweise zum Laden von elektrischen Akkumulatoren benutzt werden, wobei die elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt wird, zum

Antrieb von Elektromotoren, wobei die elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird, zur Beleuchtung und Heizung, wobei die elektrische Energie in Licht und Wärme, optische und kalorische Energie, übergeht, zur Magnetisierung von Eisen, wobei die elektrische Energie in magnetische Energie überführt wird u. s. w. — Die Gesamtheit der in der verbrauchten Steinkohle enthaltenen Energie kommt aber nicht in der Dampfmaschine, im Elektrogenerator u. s. w. wieder zum Vorschein, denn weder in der Natur, noch bei den Schöpfungen und Vorrichtungen von Menschenhand wandelt sich eine Energieform vollständig in nur *eine* andere um. Wenn eine bestimmte Menge Energie zum Betrieb einer Vorrichtung verwendet oder einem Vorgang zugeführt wird, kann man in der Regel nicht *eine einzige* Form gleichwertiger Energie wiedergewinnen, weil ein Teil der zugeführten Energie in andere Form übergeht, welche zwar bei dem betreffenden Umwandlungsvorgange in der technischen Praxis schlechthin als Verlust oder *verlorene* Energie (im Gegensatz zu *nützlicher,* in erwünschter Form wiedergewonnener, Energie) bezeichnet wird, was jedoch nicht so aufgefaßt werden darf, als ob der fragliche Teil der Energie ganz und gar verloren gegangen oder vernichtet wäre, denn auch hier behält der aus den Forschungen von Mayer, Helmholtz u. a. entstandene *Grundsatz von der Erhaltung der Energie* seine völlige Gültigkeit. Nichts, weder Stoff, noch Energie, geht verloren oder wird vernichtet, es geht nur in andere Formen über.

Bei Maschinen und sonstigen Vorrichtungen nennt man das Verhältnis der wiedergewonnenen oder abgegebenen zu der zugeführten Energie den *Wirkungsgrad* oder das *Güteverhältnis* (η c) der betreffenden Maschine oder Vorrichtung.

Zur näheren Erklärung der potentiellen und kinetischen Energie möge das Folgende dienen: — Jeder Körper steht unter dem Einfluß der Schwerkraft und jeder Körper besitzt sogen. Beharrungsvermögen oder Trägheit. Die Schwerkraft und die Schwere entstehen vermutlich aus einer besonderen Energieart, die wir vorhin *Attraktions- oder Massenanziehungs-Energie* benannten, und das Beharrungsvermögen entspringt einesteils aus der der Masse des betreffenden Körpers innewohnenden Energie und anderenteils aus Kräften oder aus Energie in dem den Körper umgebenden Stoffe. Je größer die Masse eines Körpers ist, um so größer ist die Schwerkraft oder die Anziehungskraft zwischen dem Körper und der Erde, gleiche Entfernung vorausgesetzt; und je größer die Masse ist, um so größer wird die Beharrungs- oder Trägheitskraft sein.

Wenn ein in Ruhe befindlicher oder in Bewegung begriffener starrer Körper von einer äußeren Kraft ergriffen wird und diese Kraft so groß ist und in solcher Richtung wirkt, daß sie die Beharrungskraft und die eventuell gegenwirkende Schwerkraft oder überhaupt alle widerstehenden Kräfte (einschl. den vorhandenen mechanischen Widerstand) überwinden kann, so wird der Körper, falls er vorhin in Ruhe war, in Bewegung gesetzt, oder, falls er vorhin schon in Bewegung war, seine Geschwindigkeit oder die Richtung der Bewegung oder beide verändert. Bei jeder Geschwindigkeitsänderung in der Bewegung eines Körpers muß auch eine Änderung im Energievorrat des Körpers oder in der in seiner Masse aufgespeicherten Energie eintreten. Solange die Geschwindigkeit gleichförmig ist, ist der Energievorrat konstant; bei zunehmender Geschwindigkeit vermehrt sich die Energie und bei abnehmender Geschwindigkeit nimmt sie ab.

Jeder in Ruhe befindliche Körper, gleichgültig, ob der Körper unmittelbar auf der Oberfläche der Erde ruht, oder sich in irgend einer Höhe oberhalb derselben, unterstützt oder aufgehängt, befindet, besitzt auf Grund der Massenanziehung eine bestimmte, seiner Masse und Lage entsprechende innewohnende Kraft (die Schwerkraft), die aus den gegenseitigen Wirkungen gewisser Mengen von Energie, Massenanziehungs-Energie, entspringt und die unausgesetzt bestrebt ist, den Körper in Bewegung in der Richtung nach dem Zentrum oder Mittelpunkt der irdischen Schwerkraftwirkungen zu setzen. Eine gespannte oder aufgezogene und sodann durch Sperrkegel oder sonstwie in Ruhe gehaltene Feder, der Dampf in einem Kessel o. dgl. besitzen potentielle Energie des Zustandes (Elastizitäts- oder Federenergie, Dampfenergie), deren Kräfte (Federkraft, Dampfkraft oder Dampfspannung) das Bestreben haben, die Masse der Feder, des Dampfes u. s. w. in Bewegung zu setzen. — Die potentielle Energie findet man also in ruhenden Massen, und die aus ihr hervorgehenden Kräfte haben ausschließlich statische Wirkungen und verrichten somit keine Arbeit: die innewohnenden Kräfte möchten arbeiten oder sind immerwährend dazu bereit, werden aber durch ihnen überlegene Kräfte vorläufig daran verhindert. Wird aber der unterstützte oder aufgehängte Körper frei, die Sperrvorrichtung der gespannten Feder ausgelöst, das Dampfabsperrventil des Dampfkessels geöffnet, so daß der Körper von der Höhe herabfallen, die Feder in ihre natürliche Lage zurückschnellen und der Dampf ausströmen kann, so entsteht aus der potentiellen Energie kinetische Energie, indem die entsprechenden innewohnenden Kräfte (Schwerkraft, Federkraft und Dampfkraft) die Masse des unterstützten oder aufgehängten Körpers, die der Feder, die des Dampfes und sonach mittelbar auch umgebende oder in den Weg kommende Massen anderer Körper in Bewegung setzen. Alle in Bewegung begriffene Körper (geschleuderte Gegenstände, rotierende und schwingende Maschinenteile, gehende lebende Wesen u. s. w.), ganz gleich, ob der Körper sich selbst überlassen ist oder noch unter der Einwirkung treibender Kräfte steht, und ganz gleich, ob die Geschwindigkeit der Bewegung ab- oder zunimmt, besitzen kinetische Energie und arbeitende Kräfte. Ist die Geschwindigkeit bei gleich bleibenden Gegenkräften konstant, so wird dem Körper ebensoviel Energie zugeführt, wie er abgibt, d. i. der Energievorrat des Körpers ändert sich in diesem Falle nicht. Ist die zugeführte Energie bei gleich bleibenden Gegenkräften der abgegebenen Energie nicht gleich, so ändert sich die Geschwindigkeit und der Energievorrat, welcher mit der Ab- und Zunahme der Geschwindigkeit ab- und zunimmt.

In dem Augenblicke, wo ein Körper die größte Geschwindigkeit hat, besitzt er auch seine größte kinetische Energie, und in dem Augenblicke, wo seine Geschwindigkeit = 0 ist, ist auch seine kinetische Energie = 0. Schießt man eine Kugel, z. B. mittels eines Gewehres, senkrecht in die Höhe, so besitzt die Kugel ihre größte Geschwindigkeit und ihre größte kinetische Energie in dem Augenblicke, wo sie den Lauf des Gewehres verläßt. Durch die Verbrennung (Explosion) des Pulvers wird die gebundene chemische Energie frei und in kinetische kalorische Energie umgewandelt, und aus dieser erhält die Kugel kinetische mechanische Energie und steigt mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit und einer gewissen mechanischen Anfangskraft empor. Da nun die der Kugel innewohnende mechanische Kraft in der Luft einen sehr beträchtlichen mechanischen Widerstand und in der Schwerkraft eine in entgegengesetzter Richtung wirkende Gegenkraft findet, nimmt sie, und mit ihr die Geschwindigkeit, von Anfang an allmählich ab und wird schließlich von der Schwerkraft überwältigt, das Emporsteigen der Kugel hört bald auf, die Kugel erreicht den Wendepunkt (die Steig- oder Wurfhöhe) und gelangt einen Augenblick in Ruhe, ihre kinetische Energie ist = 0. Indem die mechanische Kraft den genannten Widerstand überwindet und sohin eine mechanische Arbeit verrichtet, geht die mechanische Energie hauptsächlich in kalorische Energie über. Die der Kugel innewohnende Anziehungsenergie bleibt bei gleichbleibender Masse in ihrer Form und Menge wahrscheinlich immer konstant, trotzdem daß die Schwere und Schwerkraft, die nicht von der in der Masse der Kugel enthaltenen Anziehungsenergie allein, sondern von den gegenseitigen Wirkungen der sowohl in der Kugel, als auch in der Erde enthaltenen Mengen von Anziehungsenergie herrühren, sich mit der Entfernung von der Erde ändern, indem sie bei der Aufwärtsbewegung der Kugel allmählich abnehmen und bei der Abwärtsbewegung ebenso allmählich zunehmen. In dem Augenblicke, wo die Kugel sich in größter Höhe oder in dem Wendepunkte befindet, ist ihre potentielle Energie am größten. Die Ruhe der Kugel in größter Höhe kann nur eine momentane sein, denn die Schwerkraft fängt gleich an, die Kugel lotrecht abwärts zu ziehen und, da sie immerfort auf die Kugel wirkt, wird die Geschwindigkeit beschleunigt, und nimmt somit die kinetische mechanische Energie fortwährend zu. Beim Abwärtsgehen hat die mechanische Kraft einen ebenso großen mechanischen Widerstand in der Luft zu überwinden wie beim Aufwärtsgehen, und es wandelt sich deshalb ein Teil der mechanischen Energie schon in der Luft in kalorische Energie um, und der Rest derselben geht mehr oder weniger plötzlich in andere Energieformen über, wenn die Kugel wieder herunterkommt und irgendwo durch Aufschlagen oder in einem größeren Widerstand ihre Geschwindigkeit verliert und sonach zur Ruhe gebracht wird. Mit genau demselben Betrag, womit die Schwerkraft bei der Bewegung nach oben als Gegenkraft gewirkt hat, wirkt sie bei der Bewegung nach unten als treibende Kraft, und würde deshalb, wenn kein mechanischer (hier Luft-)Widerstand vorhanden wäre, die Kugel wieder unten eintreffen mit genau derselben Geschwindigkeit, womit sie beim Verlassen des Gewehres emporstieg; aber der Luftwiderstand ist so bedeutend, daß die Kugel lange nicht diese Geschwindigkeit wieder erlangt, sondern nur mit einer verhältnismäßig kleinen Geschwindigkeit wieder unten anlangt.

Schießt man die Kugel wagerecht in die Ferne, entsteht in der Bahn der Kugel kein sogen. Wendepunkt, worin die Kugel einen Augenblick ohne Geschwindigkeit verweilt, sondern sie bewegt sich fortschreitend, obgleich ihre Geschwindigkeit infolge des Luftwiderstandes nach und nach abnimmt. Die Bewegung findet nicht in gerader oder wagerechter, sondern in einer krummlinigen Bahn statt, denn durch die Schwerkraftwirkung wird die Kugel allmählich nach unten gezogen. Schließlich kommt die Kugel in Berührung mit der Erde und alsdann in Ruhe, nachdem sich ihre kinetische mechanische Energie in andere Energieformen, zunächst hauptsächlich in kalorische Energie, umgewandelt hat. — Schießt man die Kugel unter einem Winkel gegen den Horizont, treten ähnliche Energieumwandlungen ein. In diesem Falle bewegt sich die Kugel, wie bekannt, in einer parabolischen Bahn mit einem aufsteigenden und einem absteigenden Teil.

Rotierende und schwingende Körper, die durch mechanische Einrichtungen (Lager u. s. w.) gezwungen sind, fortdauernd dieselbe Bahn zu durchlaufen, bewegen sich auch vermöge aufgespeicherter Energie eine kürzere oder längere Zeit, nachdem die treibende Kraft zu wirken aufgehört hat, kommen aber auf Grund des Luft-, Lager- u. s. w.-Widerstandes bald zur Ruhe. Auch hier übt die Schwerkraft einen Einfluß auf die Bewegung aus, indem sie die in Bewegung begriffenen Körper nach unten zieht und dadurch die Reibung in den Lagern u. s. w. vergrößert und sohin die Geschwindigkeit allmählich vermindert. Der betreffende Körper gibt also nach und nach seine kinetische mechanische Energie ab, die dann in andere Formen übergeht. — Wollte man die Geschwindigkeit eines in Bewegung begriffenen Körpers plötzlich ganz aufheben, d. h. den Körper plötzlich zum Stillstand bringen, so müßte man auch dem Körper plötzlich einen so großen Widerstand in den Weg legen, daß er darin auf einmal seine ganze kinetische Energie abgibt. Ist die Masse und Geschwindigkeit des Körpers bedeutend, so ist es meistens mit großer Gefahr verbunden, die Bewegung eines Körpers plötzlich zu hemmen, wie ja auch die tägliche Erfahrung lehrt.

Der Betrag der kinetischen mechanischen Energie eines in Bewegung begriffenen Körpers in einem bestimmten Augenblicke läßt sich berechnen, wenn die Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung des Körpers im betreffenden Augenblicke erfolgt, und das Gewicht (bezw. die Masse) des Körpers bekannt sind.

Wird ein auf der Erdoberfläche ruhender Körper vom Gewicht G durch irgend eine Kraft F senkrecht aufwärts zu einer

Höhe h (Hubhöhe) gehoben, so verrichtet die Kraft dabei eine mechanische Arbeit (Hubarbeit)

$$W = Fh = F_m h = \frac{g}{g_P} G h = W_m \,.$$

Für die kleinen Höhen, die im allgemeinen beim Heben von Lasten in Frage kommen, kann man den für den betreffenden Ort geltenden Wert von g und somit auch die Wirkung der Schwerkraft durch die ganze Hubhöhe als annähernd konstant betrachten. Falls kein Luftwiderstand wäre, würde die hebende Kraft nur die in entgegengesetzter Richtung wirkende Schwerkraft zu überwinden haben, und dann würde $F = F_m = U_F$ sein. Entfernt man die hebende Kraft in der erreichten Höhe und überläßt den Körper der Schwerkraft allein, so fällt der Körper durch die Höhe h in seine Ursprungslage auf die Erdoberfläche zurück, und es wird dabei eine der Hubarbeit gleichwertige Arbeit (Fallarbeit) verrichtet,

$$W = U_F h = Fh = F_m h = \frac{g}{g_P} G h = W_m \,.$$

In dem Wendepunkte oder solange der Körper in der beim Heben erreichten Höhe, also im Abstande h von der Erdoberfläche, in Ruhe bleibt, besitzt er infolge der Schwerkraftwirkung eine Menge potentieller Energie (Energie der Lage), deren Betrag offenbar sowohl der Hubarbeit $(Fh = F_m h)$, als auch der Fallarbeit $(U_F h = F_m h)$ gleichwertig sein muß. Daher erhält man für die mechanische Energie der Lage die Gleichung

$$K_p = \frac{g}{g_P} G h \,.$$

Übrigens ist es ganz gleichgültig, in welcher Art und Weise eine Kraft den Körper zu der Höhe h gebracht hat. — Beim Herabfallen der Körper wandelt sich die potentielle Energie in kinetische (Energie der Bewegung) um. Die Lehre vom freien Fall besagt, daß die Endgeschwindigkeit v eines Körpers, der durch eine Höhe h frei fällt, ist $v = \sqrt{2gh}$, woraus $h = \frac{v^2}{2g}$ = die Steighöhe eines Körpers, der senkrecht in die Höhe geschleudert wird durch eine Kraft, welche dem Körper eine Anfangsgeschwindigkeit v erteilt. Setzt man $\frac{v^2}{2g}$ für h in den Ausdruck $\frac{g}{g_P} G h$ der letzten Gleichung ein, ergibt sich daraus für die mechanische Energie der Bewegung die Gleichung

$$K_k = \frac{G}{g_P}\,\frac{v^2}{2}\,,$$

welche nicht nur für senkrecht nach unten fallende Körper Gültigkeit hat, sondern für alle in Bewegung begriffenen Körper. Die Gleichung hat auch allerorts Gültigkeit, denn die kinetische Energie eines Körpers ist von der Fallbeschleunigung des jeweiligen Ortes nicht abhängig.

Im C. G. S.-System hat man für die Hubarbeit und mechanische Energie der Lage

$$\overset{\circ}{W}_m = M g h = \overset{\circ}{K}_p\,,$$

und für die mechanische Energie der Bewegung, da $h = \frac{v^2}{2g}$ ist,

$$\overset{\circ}{K}_k = M\frac{v^2}{2}\,.$$

Im C. G. S.-System ist die Dimension der Einheit:

a. für potentielle mechanische Energie

$$\overset{\circ}{K}_p = M g h = \mathrm{C^2\,G\,S^{-2}} = 1\,\mathit{erg}\,,$$

b. für kinetische mechanische Energie

$$\overset{\circ}{K}_k = M\frac{v^2}{2} = \mathrm{C^2\,G\,S^{-2}} = 1\,\mathit{erg}\,.$$

Also dieselbe Dimension wie für mechanische Arbeit. Der Zifferfaktor 2 in der letzten Gleichung hat keinen Einfluß auf den Dimensionsausdruck.

Die kinetische mechanische Energie bei Körpern, die sich um eine Achse drehen, ist, weil $v = w r$ ist,

$$K_k = \frac{G}{g_P}\,\frac{w^2 r^2}{2}\,,$$

und

$$\overset{\circ}{K}_k = M\frac{w^2\,r^2}{2}$$

oder auch, weil $M r^2 = O =$ das sogen. Trägheitsmoment des Körpers (Art. 26) ist,

$$\overset{\circ}{K}_k = O\frac{w^2}{2}\,.$$

An dieser Stelle möge auch die bekannte Formel der *Zentrifugalkraft* aufgenommen werden:

$$\overset{\circ}{F}_m = M\frac{v^2}{r} = Mw^2 r = M(2\pi n)^2 r,$$

worin F_m die senkrecht zum Kreisumfange auf Verlängerung des Kreishalbmessers hin wirkende Zentrifugalkraft bezeichnet. Die Einheitsdimension der Zentrifugalkraft ist natürlich $\mathrm{C\,G\,S}^{-2} = 1\,dyn$. Die der Zentrifugalkraft gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft nennt man *Zentripetalkraft.*

Um Raum zu ersparen und um das Zusammenführen von Gleichungen, denen verschiedene Anschauungen und Annahmen zu Grunde liegen, zu vermeiden, werden technische Bestimmungsgleichungen in diesem (III.) Kapitel künftighin nur ausnahmsweise aufgenommen, da dieses Kapitel von vornherein für das systematische Aufnehmen der Bestimmungsgleichungen des **C. G. S.**-Systems bestimmt wurde. Die technischen Bestimmungsgleichungen befinden sich, systematisch aufgestellt, im IV. Kapitel. Beim Vergleich wird man jedoch finden, daß die technischen Gleichungen sehr häufig den Gleichungen des **C. G. S.**-Systems äußerlich ganz ähnlich sind.

26. Trägheitsmoment der Körper oder Massenmoment (*O*).

Wenn ein homogener Körper aus den Massenelementen oder Massenteilchen M_1, M_2, M_3, . . . besteht, welche sich in dem Abstand r_1, r_2, r_3, . . . von einer bestimmten Drehungsachse befinden, so ist das Trägheits- oder Massenmoment des Körpers in Bezug auf diese Achse gleich der Summe der Produkte der einzelnen Massenteilchen mit den Quadraten ihrer Abstände von der Drehungsachse, folglich

$$O = M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2 + M_3 r_3^2 + \cdots = \sum M r^2.$$

Die Dimension der Einheit ist also

$$\overset{\circ}{O} = \sum M \cdot r^2 = \mathrm{G}\,(\perp \mathrm{C}^2).$$

Dieser Dimensionsausdruck darf nicht etwa $\mathrm{C^2\,G}$ geschrieben werden.

27. Antrieb der Kraft oder mechanischer Impuls (I).

Setzt man in die Bestimmungsgleichung der mechanischen Kraft ($\overset{\circ}{F}_m = M a$) für a den Ausdruck $\frac{v}{t}$ ein, erhält man $\overset{\circ}{F}_m = M \frac{v}{t}$, und schreibt man diese Gleichung in der Form

$$F_m t = M v,$$

so stellt das Produkt aus Kraft und Zeit diejenige Größe dar, die man *Antrieb der Kraft* nennt, und das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit diejenige Größe, die man *Bewegungsgröße* nennt.

Demgemäß ist der Antrieb der Kraft

$$I = F_m t.$$

Als Einheitsdimension ergibt sich

$$\overset{\circ}{I} = F_m \cdot t = (\mathrm{C\,G\,S^{-2}})\,\mathrm{S} = 1\ dyn \cdot sec\,,$$

welche Dimension auch $\mathrm{C\,G\,S^{-1}} = 1$ *grm* (Masse) · *cm* per *sec* geschrieben werden kann. Vgl. die Dimension $\mathrm{C^2\,G\,S^{-3}} = 1$ *erg* per *sec* (Art. 24).

28. Bewegungsgröße (B).

Nach dem im vorigen Artikel Gesagten bezeichnet das Produkt der Masse mit der Geschwindigkeit die *Bewegungsgröße,* also

$$B = M v.$$

Die Einheitsdimension wird demnach

$$\overset{\circ}{B} = M \cdot v = \mathrm{G} \cdot \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{S}} = \mathrm{C\,G\,S^{-1}} = 1\ grm\ (\text{Masse}) \cdot cm \text{ per } sec\,.$$

Die Dimension kann aber auch in der Form $(\mathrm{C\,G\,S^{-2}})\,\mathrm{S} = 1$ *dyn* · *sec* ausgedrückt werden.

29. Druck, Zug, Spannung (D_x).

Druck, Zug, Spannung u. dgl. sind gleichartige Begriffe, welche mit dem Begriffe der mechanischen Kraft sinnverwandt sind, also wird

$$D_x = F_m,$$

und somit die Dimension der betreffenden Einheit der Dimension der Krafteinheit gleich, nämlich $\mathrm{C\,G\,S^{-2}} = 1$ *dyn.*

30. Spezifischer Druck, Zug, Spannung (k_{Dx}).

Spezifischer Druck, Zug, Spannung u. dgl. ist der Druck, Zug, Spannung auf die Flächeneinheit eines Querschnittes, daher

$$k_{Dx} = \frac{D_x}{S}.$$

Die Einheitsdimension wird folglich

$$\overset{\circ}{k}_{Dx} = \frac{D_x}{S} = (\mathrm{C\,G\,S^{-2}})\,\mathrm{C^{-2}} = 1 \ dyn \text{ per } cm^2.$$

31. Kraftmoment (H).

Kraftmoment ist das Moment einer äußeren Kraft. Man kann unterscheiden: biegendes Kraftmoment oder äußeres Biegungsmoment und drehendes Kraftmoment oder äußeres Drehungsmoment (Torsionsmoment).

a. Biegendes Kraftmoment (H_b) in Bezug auf einen bestimmten Querschnitt eines Stabes u. s. w. nennt man das Produkt einer äußeren Kraft (F_m), die das Bestreben hat, den Stab u. s. w. zu biegen, mit dem winkelrechten Abstande l (Hebelarm) von der Kraftrichtung nach dem bezüglichen Querschnitt, woraus folgt

$$H_b = F_m\, l.$$

Man erhält als Einheitsdimension

$$\overset{\circ}{H}_b = F_m \cdot l = \mathrm{C\,G\,S^{-2}}\,(\perp \mathrm{C}) = 1 \ dyn \perp cm =$$

1 *dyn* winkelrecht an einem Hebelarm von 1 *cm* oder 1 *dyn* winkelrecht im Abstande 1 *cm*. Keinesfalls darf jener Dimensionsausdruck auf die Form $\mathrm{C^2\,G\,S^{-2}} = 1 \ dyn \cdot cm = 1 \ erg$ gebracht werden, denn dieser Dimensionsausdruck bezeichnet 1 *dyn* längs eines Weges von 1 *cm*.

b. Drehendes Kraftmoment (H_d) in Bezug auf eine bestimmte Drehungsachse eines Körpers nennt man das Produkt einer äußeren Kraft, deren Angriffspunkt sich in einer kreisförmigen Bahn bewegt und die das Bestreben hat, den Körper um die Achse zu drehen, mit dem Abstande r (Kreishalbmesser = Hebelarm) der Drehungsbahn, worin die Kraft in der Richtung der Tangente wirkt, von der Drehungsachse; daher

$$H_d = F_m\, r,$$

und die Dimension der Einheit, wie vorhin,

$$\mathrm{CGS}^{-2}\,(\perp \mathrm{C}) = 1\,dyn \perp cm.$$

Meistens hat man hier mit dynamischen Zuständen zu tun. Ist die drehende Kraft und die Drehungsgeschwindigkeit konstant, erhält man

$$P_m = F_m\, v = F_m\, r\, 2\, \pi\, n = F_m\, r\, w\,,$$

und, weil das Produkt aus Tangentialkraft und Kreishalbmesser das äußere Drehungsmoment darstellt, daraus

$$H_d = F_m\, r = \frac{P_m}{2\pi r} = \frac{P_m}{w}.$$

32. Elastizität und Festigkeit.

Unter dem Ausdrucke *Elastizität* versteht man die Fähigkeit eines Körpers, nach einer innerhalb einer gewissen Grenze, der Elastizitätsgrenze, erlittenen Formveränderung vermöge vorhandener innerer Kraft (Elastizitätskraft) in seine ursprüngliche Form zurückzukehren, sobald die äußeren Kräfte, welche die Formveränderung herbeiführten, zu wirken aufhören. Unter dem Ausdrucke *Festigkeit* versteht man die Fähigkeit eines Körpers, vermöge vorhandener innerer Kraft (Kohäsionskraft) äußeren Kräften zu widerstehen, welche das Bestreben haben, eine Zerteilung des Körpers (Überschreitung der Elastizitätsgrenze!) hervorzubringen.

Jeder Körper erleidet unter der Einwirkung einer äußeren Kraft, wenn diese Kraft auch noch so klein ist, immer eine gewisse Formveränderung, wobei die Moleküle des Körpers aus ihrer natürlichen Lage mehr oder weniger verschoben werden, wodurch Spannungen entstehen, welche stets bis an eine bestimmte Grenze mit der Formveränderung zunehmen. Die Formveränderung schreitet so lange fort, bis die dabei hervorgerufene innere Kraft, die Elastizitätskraft, im stande sein wird, der äußeren Kraft das Gleichgewicht zu halten. Selbstverständlich muß man annehmen, daß die Kohäsionskraft auch innerhalb der Elastizitätsgrenze und zwar schon bei der geringsten Formveränderung ihre Wirkung als Gegenkraft ausübt, und in Wirklichkeit geht eine Formveränderung, wenn auch noch so wenig wahrnehmbar, jeder Zerteilung voran, weshalb der Ausdruck Elastizitätskraft bis zu einem gewissen Beanspruchungsgrade des Körpers eigentlich dieselbe Kraft bezeichnet, die sonst Kohäsionskraft genannt wird. Deshalb könnte man sagen, daß die Elastizitätskraft die Wirkung der Kohäsionskraft nach außen hin ist.

Vollkommen elastische Körper gibt es nicht, denn die Erfahrung lehrt, daß kein Körper nach erlittener Formveränderung, wenn diese auch noch so unbedeutend ist, in seine ursprüngliche Form *vollständig* zurückkehren kann, sondern es entsteht stets auch eine dauernde Formveränderung, welche zwar bei geringer Beanspruchung gewisser Substanzen kaum festgestellt werden kann. Die Elastizitätsgrenze bezeichnet sonach nur eine für die Praxis angenommene, annähernde Grenze.

Die Beanspruchung eines Körpers durch äußere Kräfte kann eine sehr verschiedene sein, und je nach der Art, in welcher die Kräfte den Körper beanspruchen, kommen die inneren Kräfte, die Elastizitätskraft und die Kohäsionskraft, in verschiedener Weise zur Wirkung, und daher werden folgende Arten von Elastizität und Festigkeit unterschieden: Zug-, Druck-, Biegungs- und Drehungs-Elastizität, sowie

$$\left.\begin{array}{l}\text{Zug-}\\ \text{Druck-}\\ \text{Biegungs-}\\ \text{Drehungs-}\\ \text{Schub-}\\ \text{Knick-}\end{array}\right\} \left\{\begin{array}{c}\text{Festigkeit}\\ \text{oder}\\ \text{Widerstand}\end{array}\right\} \text{gegen Bruch durch} \left\{\begin{array}{l}\text{Zerreißen}\\ \text{Zerdrücken}\\ \text{Zerbrechen}\\ \text{Zerdrehen}\\ \text{Zerschieben}\\ \text{Zerknicken.}\end{array}\right.$$

Indem wir im folgenden etwas näher auf die fraglichen Größen eingehen, ziehen wir der Einfachheit halber zuerst die Festigkeit in Betracht.

Der Grad der Beanspruchung oder Belastung und der hierdurch verursachten Spannung in der Substanz des Körpers und die Festigkeit des Körpers wird für den in Betracht gezogenen Querschnitt in Anzahl Krafteinheiten per Flächeneinheit angegeben. Wenn daher ein homogener, stabförmiger Körper von gleichmäßigem Querschnitt S durch eine äußere Kraft beansprucht wird, die in diesem Querschnitt eine Spannung D_x verursacht, so ist der Grad der Spannung oder die spezifische Spannung k_{Dx} im fraglichen Querschnitt (vgl. Art. 30)

$$k_{Dx} = \frac{D_x}{S}.$$

In der technischen Praxis ist es von großer Wichtigkeit, solche spezifische Spannungen zu wissen, welche besondere physikalische Zustände oder Veränderungen in verschiedenen Substanzen, Bau- u. a. Materialien, hervorrufen. Insbesondere ist es wichtig zu wissen, wo die folgenden Beanspruchungsgrenzen liegen:

a. die *Bruchgrenze,* die Grenze, wo der fragliche Körper infolge der Beanspruchung zerrissen, zerdrückt, zerbrochen u. s. w. wird,

b. die *Tragfähigkeitsgrenze,* die Grenze, welche mit der Elastizitätsgrenze zusammenfällt, und

c. die *Formbeständigkeitsgrenze,* die Grenze, wo, praktisch genommen, gar keine oder nur eine vollkommen unschädliche Formveränderung (bezw. eine zulässige Federung) eintritt, oder die Grenze für *dauernd zulässige* Beanspruchung.

Die diesen Grenzen entsprechenden numerischen Werte der spezifischen Spannung (bezw. der spezifischen Beanspruchung) müssen offenbar für die verschiedenen Materialien verschieden sein. Sie werden *Festigkeitskoeffizienten* (Festigkeitsmoduli) benannt, und man kann unterscheiden:

a. Bruchkoeffizienten (k_b),

b. Tragfähigkeitskoeffizienten (k_t),

c. Formbeständigkeitskoeffizienten oder Koeffizienten für zulässige spezifische Beanspruchung (k_f).

Bezeichnet man nun die Spannung an den drei erwähnten Grenzen mit $D_{x.b}$, $D_{x.t}$ und $D_{x.f}$, ergibt sich

$$D_{x.b} = k_b S, \quad D_{x.t} = k_t S \text{ und } D_{x.f} = k_f S,$$

woraus

$$k_b = \frac{D_{x.b}}{S}, \quad k_t = \frac{D_{x.t}}{S} \text{ und } k_f = \frac{D_{x.f}}{S}.$$

Bei demselben Körper, d. h. bei demselben Material und derselben Dimension, ist selbstverständlich

$$D_{x.b} > D_{x.t} > D_{x.f} \text{ und demnach auch } k_b > k_t > k_f.$$

Im C. G. S.-System werden die numerischen Werte der Festigkeitskoeffizienten in *dyn* per *cm*² angegeben. Wenn man bei Berechnungen nach dem C. G. S.-System die in den technischen Handbüchern aufgenommenen Festigkeitskoeffizienten benutzen will, müssen dieselben, falls sie, wie gewöhnlich, in *kg* per *mm*² ausgedrückt sind, mit $10^5 \times \mathring{g}$ multipliziert werden, weil eine Beanspruchung von 1 *kg* einer solchen von 1000 $\mathring{g}$ *dyn* gleich ist, und 1 $cm^2 = 100\ mm^2$.

Die Festigkeitskoeffizienten dienen als Anhaltszahlen beim Berechnen und Konstruieren. In vielen Fällen (Maschinenteile, Baumaterialien u. s. w.) führt man indessen nur einen gewissen Bruchteil des betreffenden Festigkeitskoeffizienten in die Berechnung ein, um den Körper so zu bemessen, daß eine besondere Sicherheit gegen Bruch und Sicherheit für Formbeständigkeit erreicht werde. Ist die für den betreffenden Fall gewählte spezifische Beanspruchung (bezw. spezifische Spannung) k_{DX}, so nennt man das Verhältnis des Bruchkoeffizienten zur gewählten spezifischen Beanspruchung $\left(\frac{k_b}{k_{DX}}\right)$ den Koeffizienten der Sicherheit gegen Bruch oder nur *Bruchsicherheit*, und das Verhältnis des Formbeständigkeitskoeffizienten zur gewählten spezifischen Beanspruchung $\left(\frac{k_f}{k_{DX}}\right)$ den Koeffizienten der Sicherheit für Formbeständigkeit oder *Formbeständigkeitssicherheit.*

Die Einheitsdimension eines Festigkeitskoeffizienten ist mit der des spezifischen Druckes und Zuges (vgl. Art. 30) identisch, denn

$$\mathring{k}_{b,t,f} = \frac{D_{X.b,t,f}}{S} = (C G S^{-2})\, C^{-2} = 1\ dyn \text{ per } cm^2.$$

Die *relative Festigkeit* eines Materials bei den erwähnten Beanspruchungsgrenzen ist

$$\frac{k_{b.2}}{k_{b.1}},\ \frac{k_{t.2}}{k_{t.1}} \text{ und } \frac{k_{f.2}}{k_{f.1}},$$

wenn $k_{b.1}$, $k_{t.1}$ und $k_{f.1}$ für das Material gilt, womit die anderen Materialien verglichen werden. Die Einheitsdimension für relative Festigkeit ist natürlich gleich I.

In Bezug auf die Elastizität sei noch das Folgende angeführt: — Wenn ein an einem Ende festgehaltener homogener, gerader, stabförmiger Körper von überall gleichem Querschnitt S und von der freien Länge l durch eine äußere Kraft F_m in der Richtung seiner Achse auf Zug beansprucht wird, so entsteht im Material eine Spannung, welche in jedem Querschnitt gleich $D = F_m = k_{DX} S$ ist, wodurch der Stab stets eine mehr oder weniger bemerkenswerte Vergrößerung der Länge und Verminderung des Querschnittes erfährt. Wenn, umgekehrt, der Stab auf Druck beansprucht wird, erfährt er eine Verminderung der Länge und Vergrößerung des Querschnittes. Bezeichnet man die Längenänderung, die Längenzunahme bezw. die Längenabnahme, mit Δl, das Verhältnis $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$ mit k_l und die *spezifische Elastizität* des betreffenden Materials mit k_e, so erhält man

$$\Delta l = k_e \frac{D_x l}{S} = k_e k_{Dx} l$$

und

$$k_l = \left(\frac{\Delta l}{l}\right) = k_e \left(\frac{D_x}{S}\right) = k_e k_{Dx}.$$

Man nimmt gewöhnlich an, daß der Koeffizient (k_e), der meistens Ausdehnungskoeffizient genannt wird, für jede Beanspruchung innerhalb der Elastizitätsgrenze annähernd konstant ist, was jedoch bei vielen Materialien nicht ganz zutreffend ist. Da speziell von der Elastizität die Rede ist, soll der Koeffizient (k_e), sowie die Längenänderung Δl nicht nur Gültigkeit haben für die Formveränderung durch die Wirkung äußerer Kräfte, sondern auch für die Wiederherstellung der ursprünglichen Form durch die Wirkung innerer Kräfte; und ferner ist Δl dann aufzufassen als die gesamte Längenänderung bis zur Elastizitätsgrenze.

Aus der oben gegebenen Gleichung

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = k_e \left(\frac{D_x}{S}\right),$$

die auch in die Gestalt

$$k_l = k_e k_{Dx} = k_e k_t$$

gesetzt werden kann, ergibt sich für die spezifische Elastizität die Gleichung

$$k_e = \frac{k_l}{k_{Dx}} = \frac{k_l}{k_t}.$$

Der Begriff der spezifischen Elastizität läßt sich also erklären als das Verhältnis der spezifischen Längenänderung (k_l) zur spezifischen Beanspruchung (k_{Dx} bezw. k_t).

Aus den angeführten Gleichungen ersieht man, was man unter dem Ausdruck *ein elastischer Körper* zu verstehen hat.

Es sei hier erwähnt, daß das Verhältnis $\frac{\Delta l}{l} = k_l$ meistens *Dehnung* benannt wird. Da es sich um Elastizität handelt, kann dies Verhältnis aber ebenso häufig *Zusammenpressung* bedeuten. Man würde das fragliche Verhältnis vielleicht besser, wie soeben geschah, *spezifische Längenänderung* innerhalb der Elastizitätsgrenze benennen können.

Die Dimension der Einheit für spezifische Elastizität ist

$$\mathring{k}_e = \left(\frac{\Delta l}{l}\right) : \left(\frac{D_X}{S}\right) = \frac{k_l}{k_{DX}} = \frac{\mathrm{I}}{(\mathrm{C\,G\,S^{-2}})\,\mathrm{C^{-2}}} \text{ oder } \frac{\mathrm{I\,C^2}}{\mathrm{C\,G\,S^{-2}}},$$

je nachdem man die Sache auffassen oder deuten will. Da das Verhältnis $\frac{\Delta l}{l} = k_l$ eine bare Zahl ergeben muß, könnte man annehmen, daß es keinen Einfluß auf die Dimension habe, aber andererseits darf nicht vergessen werden, daß man es hier nicht mit einer konstanten oder für alle Materialien gleichen Zahl zu tun hat. Der Dimensionsausdruck sollte aber nicht auf die Form $\mathrm{C\,G^{-1}\,S^2}$ gebracht werden, da er dadurch an Sinn verliert oder wenigstens allgemein unverständlich wird. Die spezifische Elastizität eines Materials würde numerisch gleich 1 sein, falls ein Stab aus diesem Material und von der Länge 1 und vom Querschnitt 1 durch eine äußere Kraft der Stärke 1 eine Längenzunahme gleich 1 gerade an der Elastizitätsgrenze erführe. — In den meisten Fällen ist der numerische Wert von k_e nur ein kleiner Bruchteil von 1.

Handelt es sich nicht speziell um die Elastizität, sondern um eine Ausdehnung im allgemeinen, z. B. bis zur Bruchgrenze, würde man den Koeffizienten k_e als gewöhnlichen Ausdehnungskoeffizienten betrachten können. Für solche Ausdehnung gilt auch die Gleichung

$$\Delta l = k_e \frac{F_m l}{S},$$

wenn F_m die äußere oder streckende mechanische Kraft bezeichnet.

Setzt man F_m, S und l gleich ihren respektiven Einheiten, z. B. für das C. G. S.-System 1 *dyn*, 1 *cm*^{2} und 1 *cm*, so sieht man, daß k_e derjenigen Längenänderung Δl (in *cm*) numerisch gleich wird, welche der Stab erfahren würde, wenn er 1 *cm* lang wäre, einen Querschnitt von 1 *cm*^{2} hätte und durch eine äußere Kraft von 1 *dyn* beansprucht würde, vorausgesetzt, daß der Stab seine ursprüngliche Länge wieder annimmt, nachdem die äußere **Kraft** zu wirken aufhört. Ein numerisch angegebener Ausdehnungskoeffizient kann aber nur innerhalb sehr enger Grenzen der Belastung als richtig angesehen werden. Die Ausdehnung durch eine streckende mechanische Kraft ist der Ausdehnung durch Wärme nicht analog. Ist von einem seitlich freien Stab die Rede, so findet man, daß die Länge des Stabes in beiden Fällen zunimmt, aber daß der Querschnitt im ersten Falle ab- und im zweiten in der Regel zunimmt. Der vorerwähnte mechanische Ausdehnungskoeffizient entspricht also nicht dem Wärmeausdehnungskoeffizienten; ebenso wenig sind die Begriffe *Zugkraft* (bezw. *Spannung*) und *Temperatur* sinnverwandt, wie bisweilen angenommen wird.

Den reziproken oder umgekehrten Begriff von *spezifischer Elastizität* benennen wir *spezifische Inelastizität.* Bezeichnet man diese mit k_i (in den meisten Lehr- und Handbüchern wird sie mit E bezeichnet und Elastizitätmodulus genannt), hat man

$$k_\mathrm{i} = \frac{1}{k_\mathrm{e}} \text{ und } k_\mathrm{e} = \frac{1}{k_\mathrm{i}}$$

und daher die ganze Längenänderung bis zur Elastizitätsgrenze

$$\Delta l = \frac{1}{k_\mathrm{i}} \frac{D_\mathrm{x} l}{S} = \frac{k_{\mathrm{DX}} l}{k_\mathrm{i}}$$

und alsdann

$$k_\mathrm{l} = \left(\frac{\Delta l}{l}\right) = \frac{1}{k_\mathrm{i}} \left(\frac{D_\mathrm{x}}{S}\right) = \frac{k_{\mathrm{DX}}}{k_\mathrm{i}},$$

woraus als algebraische Definition des Begriffes spezifischer Inelastizität sich ergibt

$$k_\mathrm{i} = \left(\frac{D_\mathrm{x}}{S}\right) : \left(\frac{\Delta l}{l}\right) = \frac{k_{\mathrm{DX}}}{k_\mathrm{l}} = \frac{k_\mathrm{t}}{k_\mathrm{l}}.$$

Die Einheitsdimension wird demnach

$$\mathring{k}_\mathrm{i} = \left(\frac{D_\mathrm{x}}{S}\right) : \left(\frac{\Delta l}{l}\right) = \frac{k_{\mathrm{DX}}}{k_\mathrm{l}} = \frac{(\mathrm{C\,G\,S^{-2}})\,\mathrm{C^{-2}}}{\mathrm{I}} \text{ oder } \frac{\mathrm{C\,G\,S^{-2}}}{\mathrm{I\,C^2}}.$$

Der Ausdruck würde aber sinnlos werden, wenn man ihn auf $\mathrm{C^{-1}\,G\,S^{-2}}$ reduzierte.

Am besten deutet man den Koeffizienten k_i so, daß sein numerischer Wert die spezifische Beanspruchung oder Belastung angibt, welche erforderlich ist, um einen geraden, gleichförmigen Stab des betreffenden Materials in der Länge gerade bis zur Elastizitätsgrenze zu verändern. Der Sinn in dieser Deutung des Koeffizienten für spezifische Inelastizität erklärt sich näher aus den obigen algebraischen Ausdrücken. Übrigens kann der Begriff spezifischer Inelastizität definiert werden als das Verhältnis der spezifischen Beanspruchung (k_{DX} bezw. k_t) zur spezifischen Längenänderung (k_l).

Die in den technischen Handbüchern vorkommenden Werte von k_l (gewöhnlich unter der Bezeichnung E) sind meistens in *kg* per mm^2 angegeben und können daher für das C. G. S.-System benutzt werden, wenn man sie mit $10^5\,\mathring{g}$ multipliziert.

33. Trägheitsmoment der Querschnitte oder Querschnittsmoment (J).

Man unterscheidet äquatoriales und polares Moment:

a. Äquatoriales Querschnittsmoment (J_e). Hierunter versteht man die Summe der Produkte der einzelnen Flächenelemente oder Flächenteilchen S_1, S_2, S_3, ... eines ebenen Querschnittes mit den Quadraten ihrer Abstände l_1, l_2, l_3, ... von einer in der Ebene des Querschnittes liegenden und durch den Schwerpunkt des Querschnittes gehenden Achse (Äquatorachse), also, algebraisch ausgedrückt,

$$J_e = S_1\,l_1^2 + S_2\,l_2^2 + S_3\,l_3^2 + \ldots\ldots\ldots = \sum S\,l^2,$$

und sonach die Dimension der Einheit

$$\mathring{J}_e = \sum S \cdot l^2 = \mathrm{C}^2\,(\perp \mathrm{C}^2)\,.$$

Gewöhnlich gibt man C^4 als Dimension an, welche Form aber sinnlos ist.

b. Polares Querschnittsmoment (J_p) eines ebenen Querschnittes wird bezogen auf eine zur Ebene des Querschnittes senkrecht liegende und durch den Schwerpunkt des Querschnittes gehende Achse (Polachse) und ist gleich der Summe zweier äquatorialen Querschnittsmomente, deren Achsen sich winkelrecht in der Polachse schneiden, also

$$J_p = J_{e.1} + J_{e.2}\,,$$

und somit die Dimension der Einheit auch hier gleich $\mathrm{C}^2\,(\perp \mathrm{C}^2)$.

34. Widerstandsmoment der Querschnitte (T).

Widerstandsmoment der Querschnitte ist das Moment der inneren Kräfte in einem Querschnitt: **a.** Widerstandsmoment gegen

Biegung (T_b) und **b.** Widerstandsmoment gegen Drehung (T_d). Wirkt eine äußere Kraft biegend oder drehend auf einen an einem Ende festgehaltenen Körper, so suchen innere Kräfte die Biegung oder Drehung zu verhindern. Innerhalb der Elastizitätsgrenze herrscht in jedem Querschnitte Gleichgewicht zwischen dem Moment der äußeren Kräfte (H_b oder H_d) und dem Moment der inneren Kräfte (T_b oder T_d), so daß man in Bezug auf die neutrale Achse, eine in der neutralen Faserschicht gelegte Äquatorachse, hat

$$H_b = T_b \text{ und } H_d = T_d .$$

a. Widerstandsmoment gegen Biegung oder, wie es auch genannt wird, inneres Biegungsmoment ist, algebraisch ausgedrückt, gleich dem Produkte der in dem fraglichen Querschnitte hervorgerufenen spezifischen Spannung (im allgemeinen k_{DX} oder speziell an gewissen Beanspruchungsgrenzen k_b, k_t, k_f) mit dem Verhältnis des äquatorialen Trägheitsmoments (J_e) des Querschnittes zum Abstande (l_e) der am weitesten entfernten Faser von der neutralen Achse, also allgemein

$$T_b = k_{DX} \frac{J_e}{l_e},$$

und z. B. an der Formbeständigkeitsgrenze

$$T_b = k_f \frac{J_e}{l_e}.$$

Im Falle des Gleichgewichts der äußeren und inneren Kräfte besteht die Gleichung

$$H_b = F_m l = k_{DX} \frac{J_e}{l_e} = T_b .$$

Die Dimension der Einheit für das innere Biegungsmoment wird

$$\overset{\circ}{T}_b = k_{DX} \cdot \frac{J_e}{l_e} = (C\,G\,S^{-2})\,C^{-2} \cdot \frac{C^2\,(\perp C^2)}{(\perp C)} = C\,G\,S^{-2}\,(\perp C) = 1\,dyn \perp cm.$$

b. Widerstandsmoment gegen Drehung oder, wie es auch genannt wird, inneres Drehungs- (Torsions-) Moment ist gleich dem Produkte des Koeffizienten k_{DX} (bezw. k_b, k_t, k_f) mit dem Verhältnis $\frac{J_p}{l_p}$, d. h. gleich dem Produkte der in dem betreffenden Querschnitte herrschenden spezifischen Spannung mit dem Verhältnis des polaren

Trägheitsmoments des Querschnittes zum Abstande der am weitesten entfernten Faser von der Polachse; folglich allgemein

$$T_d = k_{DX} \frac{J_p}{l_p},$$

und z. B. an der Formbeständigkeitsgrenze

$$T_d = k_t \frac{J_p}{l_p}.$$

Halten die äußeren und inneren Kräfte einander das Gleichgewicht, so ist

$$H_d = F_m r = k_{DX} \frac{J_p}{l_p} = T_d.$$

Die Einheitsdimension ist auch hier

$$\mathring{T}_d = k_{DX} \cdot \frac{J_p}{l_p} = (\mathrm{C\,G\,S}^{-2})\,\mathrm{C}^{-2} \cdot \frac{\mathrm{C}^2(\perp \mathrm{C}^2)}{(\perp \mathrm{C})} = \mathrm{C\,G\,S}^{-2}(\perp \mathrm{C}) = 1\, dyn \perp cm.$$

35. Gravitation.

Gravitation ist die allgemeine Attraktions- oder Anziehungserscheinung, die sich zwischen den Himmelskörpern zeigt und darin besteht, daß entfernte Körper oder Massen einander anziehen. Nach dem Gravitationsgesetz von Newton ist die Kraft (U_x), die Gravitationskraft, mit welcher zwei Massen (M und M_1) in der Entfernung l einander anziehen, mit den Massen direkt und mit dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional; d. i., algebraisch ausgedrückt,

$$U_x = k_{UX} \frac{M M_1}{l^2},$$

wenn k_{UX} einen Koeffizienten, den Gravitationskoeffizienten (meistens die Gravitationskonstante genannt), bezeichnet, der für jedes Gravitations- und Maßsystem einen bestimmten, konstanten numerischen Wert hat. Die Gravitationskraft ist eine stetig wirkende und nach der üblichen Auffassung eine dem Stoffe innewohnende Kraft.

Die Einheitsdimension für Gravitationskraft muß selbstredend dieselbe sein wie für Kraft im allgemeinen, nämlich $\mathrm{C\,G\,S}^{-2} = 1\, dyn$.

Anziehung besteht aber nicht nur zwischen materiellen Körpern, ponderablen Mengen, sondern auch zwischen gewissen imponderablen

Mengen, wie man bisweilen Mengen von Elektrizität, Magnetismus u. dgl. nennt. So z. B. zeigte Coulomb, daß zwei Elektrizitätsmengen einander anziehen, bezw. einander abstoßen, nach einem Gesetz (gewöhnlich *Coulombsches* Gesetz genannt), das mit dem *Newtonschen* Gravitationsgesetz völlig identisch ist. Man hat nämlich bei zwei Mengen statischer Elektrizität für die Anziehungs- bezw. Abstoßungskraft (vgl. Art. 54)

$$\text{Ъ} = \pm \mathfrak{k}_{\alpha} \frac{\text{Ж}\,\text{Ж}_1}{l^2}.$$

Jeder einzelne Körper hat infolge innerer Kräfte das Bestreben, unverändert fort zu bestehen, und widersetzt sich nicht nur allen äußeren Kräften, welche versuchen, eine Veränderung im Zustande seiner Masse zu bewirken, sondern auch den Kräften, welche versuchen, ihm zugehörige Teile zu entfernen. Jeder Körper hat seinen bestimmten Bereich, innerhalb dessen er stets zu dominieren und die ihm innewohnenden Kräfte geltend zu machen sucht, so z. B. hat die Erde einen bestimmten Bereich für ihre Schwerkraftwirkungen, die *Barosphäre* (von βάρος und σφαῖρα), und alle Körper innerhalb dieses Bereiches gehören ihr sozusagen an und stellen mit ihr ein gemeinsames System dar, das in seiner Ganzheit eine gewisse innere, das System zusammenhaltende Kraft oder eine bestimmte Menge entsprechender Energie besitzt, so daß, falls äußere Kräfte einen Teil der dem System angehörenden Masse aus dem Bereich des Systems führten, dies für das betreffende System einen entsprechenden Kraft- oder Energieverlust bedeuten würde.

36. Gravitationskoeffizient (k_{UX}).

Die Definition des Gravitationskoeffizienten ergibt sich aus der Bestimmungsgleichung der Gravitationskraft, woraus

$$k_{\mathrm{UX}} = \frac{U_{\mathrm{x}}\, l^2}{M M_1}.$$

Die Einheitsdimension dieses Koeffizienten kann ohne weiteres ermittelt werden, zumal da die Dimensionen der Einheiten für Kraft, Länge und Masse schon bekannt sind, und sie wird sein

$$\mathring{k}_{\mathrm{UX}} = \frac{U_{\mathrm{x}}\, l^2}{M M_1} = \frac{U_{\mathrm{x}} \cdot l}{M_1} \cdot \frac{l}{M} = \frac{\mathrm{C}^2\, \mathrm{G}\, \mathrm{S}^{-2}}{\mathrm{G}} \cdot \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{G}}.$$

Der Dimensionsausdruck läßt sich wohl algebraisch vereinfachen, so daß er die Gestalt $\mathbf{C}^3\,\mathbf{G}^{-1}\,\mathbf{S}^{-2}$ annimmt, aber dabei gewinnt er keineswegs an Deutlichkeit.

Berücksichtigt man die gegenseitige Anziehung zwischen der Masse (M) der Erde und der Masse (M_1) eines auf der Erdoberfläche befindlichen Körpers, so kann man den numerischen Wert von k_{UX} annäherungsweise berechnen. Wenn man annimmt, daß $M_1 = 1$ *grm*, $l = r =$ mittleren Halbdurchmesser der Erde $\cong 6{,}37 \times 10^8$ *cm*, die mittlere spezifische Dichte der Erde $\cong 5{,}63$ *grm* per *cm*^{3} und $\mathring{g} \cong 981$ *cm* per *sec* per *sec* ist, erhält man

$$\mathring{U}_X = U_F = M_1\,\mathring{g} \cong 981\ dyn,$$

$$\mathring{M} \cong {}^4/_3\,\pi\,(6{,}37 \times 10^8)^3\,5{,}63 \cong 1{,}08 \times 10^{27} \times 5{,}63\ grm,$$

und dann ergibt sich für den Koeffizienten der numerische Wert

$$\mathring{k}_{UX} \cong \frac{981 \times (6{,}37 \times 10^8)^2}{(1{,}08 \times 10^{27} \times 5{,}63) \times 1} \cong 6{,}45 \times 10^{-8}.$$

37. Mechanisches Potential (V_X).

Wenn eine verhältnismäßig kleine Masse M_1 (Fig. 1), die sich innerhalb des Anziehungsbereiches einer sehr großen, zentral gelegenen, sphärischen Masse M befindet, deren Lage als konstant und deren Mittelpunkt als Anziehungs- und Kraftzentrum angenommen wird, aus einer Lage in eine andere bewegt wird, so verändert sich laut dem Gravitationsgesetze der Einfluß der Zentralmasse oder die

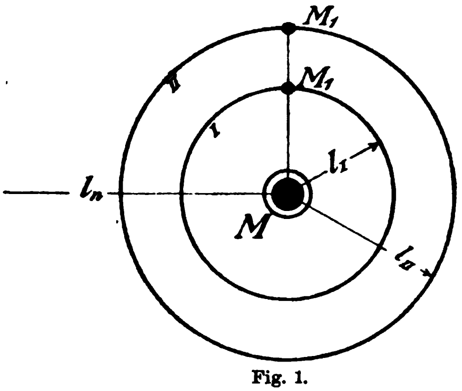

Fig. 1.

Wirkung der angenommenen Zentralkraft auf die kleine Masse M_1 umgekehrt mit dem Quadrate des Abstandes vom Mittelpunkt der Masse M_1 bis zum Kraftzentrum. Demnach nimmt der Einfluß von M auf M_1 mit der Entfernung schnell ab und würde verschwinden, wenn M_1 unendlich weit von M entfernt würde, und dann würde M_1 nicht mehr gegen M gravitieren. Die Anziehung einer Masse wirkt aber nicht nur nach einer Richtung, sondern nach allen Richtungen hin. Ist die angenommene sphärische Masse homogen oder sind die Stoffe, welche sie enthält, symmetrisch verteilt, so kann man sich vorstellen, daß die Anziehungsenergie, woraus die anziehenden Kräfte entspringen, gleichsam radial vom Mittelpunkt durch die sphärische Masse und sphärische Oberfläche nach jeder Richtung hin ausstrahlt und sich auch radial im umgebenden Raume ausbreitet und den ebenfalls sphärischen Anziehungsbereich, die Attraktionssphäre oder die Barosphäre, bildet; also alles in genauer Übereinstimmung mit der Fortpflanzung, Ausbreitung oder Ausstrahlung von Schall, Wärme, Licht, Magnetismus und Elektrizität oder überhaupt von jeder denkbaren Art von Energie, die sich im umgebenden Raume gleichmäßig und radial nach allen Richtungen hin ausbreitet und eine entsprechende *Energiesphäre* bildet, wenn sie aus einer sphärischen oder punktförmigen Energiequelle strömt und der Stoff oder das Mittel, worin sich die betreffende Energie ausbreitet, homogen und isotrop ist. Von einer Energiesphäre kann man eigentlich nur dann sprechen, wenn die betreffende Energiequelle fortdauernd tätig ist und Energie ausbreitet. So z. B. würde eine eigentliche *Phonosphäre* (von φωνή und σφαῖρα) nur so lange bestehen, wie die entsprechende Laut- oder Schallquelle ununterbrochen Laut oder Schall erzeugt und aussendet. Denkt man sich um die Energiequelle, um das Energiezentrum, eine Anzahl konzentrischer sphärischer Flächen, so findet man gleich, daß die Intensität (bezw. die Dichte) der Energie und somit auch die Wirkung der daraus entspringenden Kraft in jeder Fläche eine andere sein, und daß sie mit dem Quadrate des Abstandes vom Zentrum abnehmen muß, weil die Größe der um das Zentrum beschriebenen sphärischen Flächen mit dem Quadrate des Radius zunimmt. Kommt eine Energiesphäre in Berührung mit einer oder mehreren anderen derselben oder verschiedener Art, wirken sie aufeinander ein, und es kommen dadurch Erscheinungen und Kräfte zum Vorschein, die sich um so stärker äußern, je größer die Intensität oder Dichte der Energie auf der betreffenden Berührungsstelle ist.

Der numerische Betrag des Einflusses von M auf M_1 ändert sich selbstverständlich nicht, wenn M_1 in einer *Niveaufläche* (der Oberfläche einer Sphäre, die ihren Mittelpunkt im Kraftzentrum hat, so daß die Fläche überall rechtwinklig zu der wirkenden Kraft steht) bewegt wird, denn solchenfalls bleibt der Abstand zwischen M und M_1 konstant.

Die Anziehungs- oder Gravitationskraft (in Dyns oder anderen Krafteinheiten, je nach dem Maßsystem, das man benutzen will) im Abstande l_{I} vom Zentrum ist

$$\overset{\circ}{U}_{\mathrm{x.I}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{I}}^2} \; dyn,$$

im Abstande l_{II}

$$\overset{\circ}{U}_{\mathrm{x.II}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{II}}^2} \; dyn,$$

und, wenn l_{n} die Entfernung bezeichnet, wo die Zentralmasse gerade ihren Einfluß auf M_1 verliert, im Abstande $l_{\mathrm{n}} = \infty$

$$\overset{\circ}{U}_{\mathrm{x.n}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{n}}^2} = 0.$$

Falls die Kraft (U_{x}) in Dyns gewünscht wird, muß natürlich auch k_{Ux}, M, M_1 und l in C. G. S.-Einheiten ausgedrückt werden.

Die Masse M_1 besitzt auch eine bestimmte, ihrer zufälligen Lage entsprechende Menge mechanischer Energie (K). Wenn die soeben angeführten Gravitationsgleichungen in die folgende Gestalt gesetzt werden

$$U_{\mathrm{x.I}}\, l_{\mathrm{I}} = \overset{\circ}{K}_{\mathrm{I}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{I}}} \; erg,$$

$$U_{\mathrm{x.II}}\, l_{\mathrm{II}} = \overset{\circ}{K}_{\mathrm{II}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{II}}} \; erg,$$

$$U_{\mathrm{x.n}}\, l_{\mathrm{n}} = \overset{\circ}{K}_{\mathrm{n}} = k_{\mathrm{Ux}} \frac{M M_1}{l_{\mathrm{n}}} = 0,$$

so bezeichnet K_{I}, K_{II} und K_{n} die mechanische Energie, welche die Masse M_1 in den drei den Abständen l_{I}, l_{II} und l_{n} entsprechenden Lagen besitzt. Diese Energie ist gleichwertig der Arbeit, welche die Gravitationskraft verrichten würde, um die Masse M_1 von der Gravitationsgrenze oder von der Begrenzungsfläche der Barosphäre der Masse M (also aus der Null-Lage) bis an die Grenzen oder Niveauflächen, welche den Abständen l_{n}, l_{II}, l_{I} vom Anziehungs-

(Gravitations-)Zentrum entsprechen, zu ziehen, oder auch der Arbeit gleichwertig, welche eine äußere, der Gravitationskraft entgegenwirkende Kraft auszuführen haben würde, um die Masse von diesen Niveauflächen bis zu einem Punkt außerhalb des Gravitationsbereiches der Zentralmasse zu bringen; in beiden Fällen einerlei, ob direkt (in radialer Richtung) oder auf Umwegen, vorausgesetzt, daß man nicht Energie verbrauchende Widerstände zu berücksichtigen hat.

Die Energiedifferenz der Masse $\boldsymbol{M}_1$ in Bezug auf zwei beliebige Punkte innerhalb des Gravitationsbereiches oder der Barosphäre der Zentralmasse $\boldsymbol{M}$, z. B. die Differenz zwischen der Energie der Masse $\boldsymbol{M}_1$ in einem beliebigen Punkt in der Niveaufläche *I* und der Energie derselben Masse in einem ebenfalls beliebigen Punkt in der Niveaufläche *II* ist

$$\mathring{\boldsymbol{K}}_{\mathrm{d.I-II}} = \boldsymbol{K}_{\mathrm{I}} - \boldsymbol{K}_{\mathrm{II}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{\boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1}{l_{\mathrm{I}}} - k_{\mathrm{UX}} \frac{\boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1}{l_{\mathrm{II}}} = k_{\mathrm{UX}} \boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1 \left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{II}}}\right) erg.$$

Ist der Abstand l_{II} sehr groß im Vergleich zu dem Abstande l_{I} oder setzt man $\frac{1}{l_{\mathrm{II}}} = \frac{1}{l_{\mathrm{n}}}$, so kann man schreiben

$$\mathring{\boldsymbol{K}}_{\mathrm{d.I-n}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{\boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1}{l_{\mathrm{I}}} \; erg\,.$$

D. h. die Energiedifferenz der Masse $\boldsymbol{M}_1$ in Bezug auf die Null-Lage (die Gravitationsgrenze) und eine beliebige Lage im Abstande l vom Anziehungszentrum ist im allgemeinen

$$\mathring{\boldsymbol{K}}_{\mathrm{d}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{\boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1}{l} \; erg\,.$$

Die Kraft, welche die Energiedifferenz zwischen zwei Punkten (bezw. Niveauflächen) innerhalb des Gravitationsbereiches verursacht, z. B. zwischen den Punkten *I* und *II*, ist offenbar nicht konstant für die ganze Strecke $(l_{\mathrm{II}} - l_{\mathrm{I}})$. Um einen Ausdruck für den Mittelwert dieser Kraft $(\boldsymbol{U}_{\mathrm{x.m}})$ zu erhalten, schreibt man

$$\boldsymbol{U}_{\mathrm{x.m}} (l_{\mathrm{II}} - l_{\mathrm{I}}) = \mathring{\boldsymbol{K}}_{\mathrm{d.I-II}} = k_{\mathrm{UX}} \boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1 \left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{II}}}\right) erg\,,$$

woraus dann

$$\mathring{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{x.m}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{\boldsymbol{M}\boldsymbol{M}_1}{l_{\mathrm{I}}\, l_{\mathrm{II}}} \; dyn\,.$$

Schreibt man die drei vorhin angeführten Gravitationsgleichungen, wie folgt,

$$\frac{U_{x.I}\,l_I}{M_1} = \overset{\circ}{V}_{x.I} = k_{UX}\frac{M}{l_I},$$

$$\frac{U_{x.II}\,l_{II}}{M_1} = \overset{\circ}{V}_{x.II} = k_{UX}\frac{M}{l_{II}},$$

$$\frac{U_{x.n}\,l_n}{M_1} = \overset{\circ}{V}_{x.n} = k_{UX}\frac{M}{l_n},$$

so sieht man, daß die numerischen Werte von $V_{x.I}$, $V_{x.II}$ und $V_{x.n}$ Erg per Masseneinheit repräsentieren. Im allgemeinen kann man also schreiben

$$\overset{\circ}{V}_x = k_{UX}\frac{M}{l}\ \textit{erg}\ \text{per Masseneinheit.}$$

Diese letzte Gleichung ist die algebraische Definition des Begriffes *Mechanisches Potential*, das demnach als eine Energiemenge per Masseneinheit aufzufassen ist. Das Potential gibt an: **a.** die Menge kinetischer Energie, welche die Masseneinheit (oder jede Masseneinheit, welche in der Masse M_1 enthalten ist), wenn sie infolge des Einflusses der Zentralmasse M von der Gravitationsgrenze gegen das Gravitationszentrum frei gravitiert, erlangt haben würde gerade in dem Augenblicke, wo sie die Niveaufläche passiert, die im Abstande l vom Gravitationszentrum liegt, oder auch **b.** die Menge Arbeit, welche eine äußere Kraft zu verrichten hätte, um die Masseneinheit von jener Niveaufläche bis an die Gravitationsgrenze zu führen. Die Stärke des Potentials wird folglich von der Gravitationsgrenze aus (d. h. von der Null-Lage) gegen das Gravitationszentrum gerechnet.

Die mechanische **Potentialdifferenz** bei einer Masseneinheit, auf welche eine dominierende Zentralmasse M wirkt, in Bezug auf zwei beliebige Punkte innerhalb des Gravitationsbereiches, z. B. die Punkte (bezw. die Niveauflächen) *I* und *II*, ist

$$\overset{\circ}{V}_{x.d} = V_{x.I} - V_{x.II} = k_{UX}\frac{M}{l_I} - k_{UX}\frac{M}{l_{II}}$$

$$= k_{UX}M\left(\frac{1}{l_I} - \frac{1}{l_{II}}\right)\ \textit{erg}\ \text{per Masseneinheit.}$$

Zwischen dem Punkt *I* und einem anderen Punkt, der an der Gravitationsgrenze oder im Abstande $l_n = \infty$ vom Gravitationszentrum gelegen ist, ist die Potentialdifferenz

$$\overset{\circ}{V}_{\mathrm{x.d}} = V_{\mathrm{x.I}} - V_{\mathrm{x.n}} = k_{\mathrm{UX}} M \left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{n}}} \right),$$

oder, weil $\frac{1}{l_{\mathrm{n}}}$ im Vergleich zu $\frac{1}{l_{\mathrm{I}}}$ verschwindend klein ist,

$$\overset{\circ}{V}_{\mathrm{x.d}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{M}{l} \; \textit{erg} \text{ per Masseneinheit.}$$

Man hat also denselben algebraischen Ausdruck sowohl für Potential, als auch für Potentialdifferenz, d. i. allgemein

$$\overset{\circ}{V}_{\mathrm{x}} = \overset{\circ}{V}_{\mathrm{x.d}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{M}{l} \; \textit{erg} \text{ per Masseneinheit,}$$

wenn die betreffende Masseneinheit sich im Abstande l vom Zentrum der dominierenden und das Potential erzeugenden Masse M befindet. Jedem Wert für l entspricht eine Niveaufläche. Mitunter pflegt man zu sagen, daß jede Niveaufläche ein gewisses durch M und l bestimmtes Potential (= dem Potential in Bezug auf eine in dieser Fläche gedachte Masseneinheit) besitzt. Eine Niveaufläche muß selbstverständlich über ihre ganze Ausdehnung äquipotential sein. Daher sagt man anstatt Niveaufläche zuweilen auch *Fläche gleichen Potentials.*

Die Dimension der Einheit für *Potential* und *Potentialdifferenz* wird also

$$\overset{\circ}{V}_{\mathrm{x}} = \overset{\circ}{V}_{\mathrm{x.d}} = k_{\mathrm{UX}} \frac{M}{l} = (\mathrm{C}^2\, \mathrm{G}\, \mathrm{S}^{-2})\, \mathrm{G}^{-1} = 1 \; \textit{erg} \text{ per } \textit{grm} \text{ (Masse)}.$$

Die Begriffe *Potential* und *potentielle Energie* dürfen natürlich nicht verwechselt werden.

C. Kalorische (Thermische) Größen und ihre Maßeinheiten.

38ª. Wärmequellen und Wärmewirkungen in der Natur.

Die Wärme, die kalorische Energie, und die aus ihr entspringenden Kräfte spielen eine ungeheuer große Rolle in der Natur. Überall, wo wir hinblicken, können wir stets irgend welche

Wirkungen kalorischer Kräfte verspüren. In unserem Planeten-(Sonnen-)System ist der Zentralkörper, die Sonne, die mächtigste natürliche Wärmequelle. Weil die Masse der Sonne sich in glühendem Zustande befindet, sendet sie nicht nur Wärme, sondern auch Licht, optische Energie, aus; sie ist also ein selbstleuchtender Körper. Alle durchgehends glühenden Körper sind selbstleuchtend. Wie Kant und Laplace schon annahmen, stammen wahrscheinlich sowohl die noch selbstleuchtenden Himmelskörper, wie z. B. die Sonne, als auch die nicht mehr selbstleuchtenden, wie z. B. die Erde, aus glühenden, einst vollkommen gasförmigen Massen. Die nicht mehr selbstleuchtenden Himmelskörper befanden sich auch eine Zeit lang in einem durchweg glühenden Zustande und haben während jener Zeit ebenfalls optische Energie ausgesandt; aber bei ihrer Bewegung in dem überaus kalten Weltraume, dessen Temperatur man auf ungefähr — 273° C (?) berechnet hat, wurden sie nach und nach abgekühlt. Sobald ihre Oberfläche allerwärts und dauernd so weit erkaltet war, daß die entstandene Lithosphäre (von λίϑος und σφαῖρα), die annähernd sphärische starre Schale oder Kruste (Erdrinde), welche die im Innern vieler Himmelskörper jedenfalls noch glühende Masse deckt, nicht mehr glühte, hörte auch das Leuchten oder Lichtaussenden des betreffenden Körpers auf. So wird es allem Anschein nach auch mit der Sonne gehen, denn anzunehmen, daß ihre Temperatur auf die eine oder die andere Weise auf ewig konstant erhalten wird, ist kaum möglich. Eher ist wohl anzunehmen, daß die Masse, woraus unser Sonnensystem sich entwickelte, eine überaus große Hitze hatte, was noch in hohem Grade bei der Sonnenmasse der Fall sein dürfte, und daß dieser Umstand und die Größen-, Lage- und Bewegungsverhältnisse der Sonne die Erkaltung so verlangsamen, daß man dieselbe oder deren Folgen bis jetzt nicht sicher hat wahrnehmen können. Angaben bezüglich einer konstanten Temperatur der glühenden Sonnenmasse dürfte man also nicht zu große Genauigkeit beimessen. — Ein Himmelskörper, der aufgehört hat, eigenes Licht auszusenden, wie z. B. die Erde, hat deshalb keineswegs aufgehört, Wärme auszusenden; er kann noch lange in seiner Umgebung eine *Thermosphäre* (von ϑερμός und σφαῖρα) erzeugen, und er wird fortgesetzt eigene Wärme aussenden, bis seine Temperatur nicht höher ist als die der Umgebung.

Die Erde empfängt optische und kalorische Energie von der Sonne, aber allein dadurch ist das organische Leben (die Flora und die Fauna) auf der Erde nicht bedingt; die Eigenwärme, das Wasser und die Atmosphäre (von ἀτμός und σφαῖρα) der Erde sind nicht minder wichtige Faktoren für das gesamte irdische Leben. Die von der Sonne zur Erde ausgesandte Wärme hat natürlich die Erkaltung der Erdoberfläche nicht verhindern können, aber sie wird wahrscheinlich auch nicht verhindern können, daß die innere Erdmasse nach und nach vollständig erkaltet oder ihre Eigenwärme verliert. Die Abnahme der Eigenwärme der Erde muß selbstverständlich sowohl im Innern der Erde, als auch auf ihrer Oberfläche im Laufe der Zeiten große Veränderungen hervorrufen; die Atmosphäre wird sich dabei ohne Zweifel auch bedeutend verändern, und mit dieser dann auch die Wirkungen der Wärme der Sonne und der Kälte des Weltraumes auf die Erde. Solche Veränderungen geschahen und geschehen in der Regel nicht plötzlich, sondern allmählich und sehr langsam. Ebenso allmählich gestalten sich die irdischen Zustände um, und allmählich passen sich die Organismen den immer neuen Verhältnissen an, indem sie sich fortschreitend verändern und weiter entwickeln, Formen und Eigenschaften annehmen, welche für die umgebenden Verhältnisse geeignet sind. Die Wärmemenge, die auf der Erde bei den verschiedenen Vorgängen, von der Tier- und Pflanzenwelt u. s. w. immerwährend verbraucht (umgesetzt) und teils von der Sonne, teils von der Erde geliefert wird, ist natürlich eine ungeheuer große. Von der Sonne aus soll nach Violle die Erde für jedes Quadratmeter in der sphärischen Fläche an der Grenze (?) der Atmosphäre in der Sekunde eine Wärmemenge von 0,423 Kalorien erhalten. Selbstredend darf man sich auf die absolute Richtigkeit solcher Zahlen nicht verlassen.

Freilich wirkten und wirken bei den irdischen und kosmischen Vorgängen häufig auch andere als kalorische Kräfte mit, insbesondere die Schwerkraft, die Gravitationskraft und die chemische Kraft. Alle Veränderungen und Umgestaltungen der Erde geschahen und geschehen aber nicht immer allmählich und langsam, denn die Wirkungen infolge der kalorischen Kräfte waren zuweilen sehr plötzlich und gewaltsam. In solchen Fällen konnten die stattgefundenen Veränderungen leicht beobachtet werden. Schon die verschiedenen mittelbaren und unmittelbaren Wirkungen der Winde und der atmosphärischen Niederschläge, welche alle auf kalorische Kräfte, auf Temperaturdifferenzen, zurückzuführen sind, liefern Beispiele von mitunter plötzlichen und heftigen, mehr oder weniger ausgedehnten Umwälzungen und Veränderungen auf der Erdoberfläche. So z. B. verursachen die Winde die Bildung der Meereswogen, der Dünen an den Ufern des Meeres und verschiedener anderer Ablagerungen, indem sie Stoffe von einer Stelle zu einer anderen führen; ferner verursachen die Winde, daß die warme, feuchte Luft, die hauptsächlich über dem Meere durch aufgenommene Wasserdämpfe entsteht, zu anderen Regionen geführt wird (Bewegung der Wolken!), wo sie, falls die Temperatur dort eine so niedrige ist, daß sich die Dämpfe zu Wassertropfen, Schneeflocken oder Eiskristallen verdichten können, atmosphärische Niederschläge herbeiführt, welche dann auf dem Festlande mächtige Schnee- und Eismassen, Eisberge, Gletscher, Wasseransammlungen, Wasserströme, Wasserfälle, hydrostatische Quellen u. s. w. hervorrufen, sowie den Erdboden bewässern und fruchtbar machen, das organische Leben mit Wasser versehen u. s. w., aber auch manchmal bedeutende Verheerungen, wie große Überschwemmungen, heraufbeschwören. — Beim Beurteilen stattgefundener und stattfindender Veränderungen und Umwandlungen infolge der Wärmewirkungen auf der Erdoberfläche darf man auch nicht übersehen, daß sich wahrscheinlich die Neigung der Erdachse im Laufe der Zeiten periodisch ändert, so daß das Licht und die Wärme von der Sonne nicht seit allen Zeiten in einer und derselben Region gleich wirkten. Hierdurch müßten natürlich das Klima, die Eis-, Schnee- und Wasserverhältnisse u. s. w. in den beiden Hemisphären auch periodischen Änderungen unterworfen sein. Außerdem weiß man, daß andere Vorgänge, die vulkanische Tätigkeit u. a. m., die Erdoberfläche wesentlich verändert haben, indem sie auf dieser Hebungen und Senkungen bewirkten und die Verteilung von Land und Meer und damit auch viele andere Verhältnisse anders gestalteten.

Bei der Bildung der Lithosphäre, bei der geologischen Bauarbeit, bei den Vulkanen, bei den Erdbeben und bei solchen heißen Quellen, deren Tätigkeit nicht auf hydrostatischen Verhältnissen allein beruht, äußerten und äußern sich mitunter gewaltige kalorische Kräfte. — Nachdem die glühende Masse, aus welcher die Erde entstand, sich von den übrigen Massen unseres Sonnensystems losgetrennt, geballt und ihre auf Grund der vorhandenen kosmischen Kräfte bestimmte Bahn und Bewegung im Raume angenommen hatte und folglich in allseitige Berührung mit der

Kälte des Weltraumes kam, fing diese Masse, der Erdball, an, auf der Oberfläche allmählich zu erkalten. Anfänglich befand sich unzweifelhaft der Erdball, ebensowie die anderen Planeten in einem gasförmigen Zustande, und wahrscheinlich befanden sich die Gase der verschiedenen Grundstoffe auch in einer überaus großen Überhitzung und waren stark, wenn nicht vollständig, diffundiert. Infolge der Abkühlung wurden die Gase nach und nach mehr oder weniger verdichtet, und infolge der Schwerkraftwirkungen wurden die Stoffe in gewisser Ordnung geschichtet. Durch die fortgesetzte Abkühlung bildete sich dann, ungefähr wie Eis sich auf unruhigem Wasser bildet, allmählich eine feste Schale, die Lithosphäre oder Erdrinde, welche immer dicker wurde und wird. Auf die Außenseite der Schale wirkten abwechselnd die Wärme der Sonne und die Kälte des Weltraumes und auf der Innenseite der Schale die Eigenwärme des Erdballes, und es leuchtet ein, daß die Festigkeit der Schale, zumal weil die Schale anfänglich sehr dünn war, den ungeheuren kalorischen Kräften, welchen sich übrigens andere Kräfte hinzugesellten, wie die Schwerkraft, die Gravitationskraft und die chemische Kraft, nicht immer das Gleichgewicht halten konnte. Infolge der Abkühlung, also infolge äußerer Kräfte, schrumpfte die Schale zusammen und übte dadurch auf die innere, glutflüssige Masse einen großen Druck aus, der durch die Schwerkraftwirkungen noch verstärkt wurde; außerdem traten Spannungen in der Schale selbst hinzu, welche mit der Dicke der Schale zunahmen, weil dann die Temperaturdifferenz der inneren und äußeren Flächen der Schale immer größer und die äußere Masse der Schale auf Grund der fortgesetzten Abkühlung immer fester und weniger nachgiebig wurde, so daß die Schale schließlich nicht ohne weiteres nachgeben und sich den vorkommenden Bewegungen und Veränderungen im Innern des Erdballes anpassen konnte. Hierdurch wurde die Schale mitunter plötzlich und gewaltsam erschüttert, gerunzelt, gefaltet, gehoben und gesenkt und oftmals zerrissen, so daß sich größere und kleinere Öffnungen und Spalten bildeten, wodurch die glühende, flüssige Masse (das Magma) zuweilen abgedeckt wurde und teilweise hervorquellen konnte, um sich auf der Oberfläche zu lagern und alsdann zu erstarren. Bei solchen Umwälzungen in der erstarrenden und erstarrten Erdhülle wurden selbstredend die früher geschichteten Stoffe hier und da verschoben, umgelagert und manchmal miteinander vermischt, und durch die aus dem Erdinnern hervorgedrungene, eruptive Masse wurden bisweilen neue Stoffe zu Tage gefördert. Sobald die Oberfläche so weit abgekühlt war, daß Wasser sich darauf kondensieren konnte, füllten sich nach und nach die Vertiefungen mit Wasser, das alsbald bei der geologischen Bauarbeit mittätig wurde (bei den Sedimentärbildungen u. s. w.). Infolge der fortgesetzten vulkanischen Tätigkeit, wodurch die Erdoberfläche immerfort Hebungen und Senkungen erlitt, konnte offenbar die Verteilung von Land und Meer nicht konstant bleiben, sondern wurde jedenfalls sehr häufig und wesentlich geändert. — Durch das Entstehen von genügender Feuchtigkeit oder Wasser konnte das organische Leben beginnen. Von dem Zeitpunkte an, wo die Masse der Erde sich von den anderen Massen unseres Sonnensystems loslöste und selbständiger Körper wurde, bis zu der Zeit, als das erste organische Leben entstand, sind Äonen verflossen.

Im Laufe der Zeiten erkaltete die Erde so weit, daß die Erdschale, Erdrinde, so dick wurde und solche Festigkeit bekam, daß sie nunmehr sowohl den im Erdinnern wirkenden kalorischen Kräften, zumal da sich diese infolge der immer kleiner werdenden glühenden Masse fortwährend vermindern, als auch den atmosphärischen und den barosphärischen Kräften besser widerstehen konnte. Heutzutage erinnern uns hauptsächlich die Vulkane, die Erdbeben und gewisse heiße Quellen daran, daß sich im Innern unserer Erde noch eine mächtige Wärmequelle befindet, und daß gewaltige kalorische Kräfte noch dort tätig sind und sich gar nicht selten auch noch auf der Oberfläche kundgeben, wo sie öfters schwere Verwüstungen verursachen. — Schon aus dem vorher Gesagten erkennt man die hauptsächlichsten Ursachen der Vulkane und der Erdbeben. Beide Erscheinungen fingen mit der Erkaltung der Erdmasse, mit der Bildung der Erdrinde, an und nahmen im Laufe der Zeiten in ihrer Anzahl, ihrer Beschaffenheit und meistens wohl auch in ihrer Stärke in Bezug auf die bewegten Massen ab. Es gibt eine sehr große Anzahl Vulkane, deren Krater oder Mündung nicht mehr in offener Verbindung mit dem glutflüssigen Innern der Erde steht, und viele davon haben seit Menschengedenken keine Eruptionen gehabt und werden deswegen *erloschene* Vulkane genannt; jedoch darf man nicht bestimmt annehmen, daß dieser oder jener nie wieder in Tätigkeit treten werde. Es gibt aber viele Vulkane, die noch dann und wann in Tätigkeit treten, oder die seit historischen Zeiten in Tätigkeit gewesen sind, und man hat auch gesehen, daß neue Vulkane noch heutzutage entstehen können. Die tätigen Vulkane stehen durch einen Kanal in Verbindung mit dem Erdinnern, und durch den Vulkankanal steigt die vulkanische Masse, die Lava, empor und wird mit größerer oder geringerer Heftigkeit durch den Krater ausgeworfen. Meistens befinden und befanden sich die tätigen Vulkane an den Küsten oder in der Nähe des Meeres, und es läßt sich in verschiedenen Fällen vermuten, daß dem Vulkankanal durch Spalten oder Kanäle Wasser vom Meere, von Seen u. s. w. zugeführt wird, und daß das so eingedrungene Wasser, das selbstverständlich häufig auf seinem Weg nach dem Vulkankanal verschiedene Stoffe mit sich führt, einen großen Einfluß auf die Art und Beschaffenheit des Auswurfes hat. — Jeder vulkanische Ausbruch deutet auf vorhandene Gleichgewichtsstörungen und Veränderungen teils in der Atmosphäre und Barosphäre, teils im Innern der Erde hin, und bei jedem bedeutenderen Ausbruch finden gewisse Massenbewegungen und Massenverschiebungen statt, die nicht ohne Einfluß auf die Erdrinde bleiben können. Deshalb sind Bodenerschütterungen, Erdstöße, Erdbeben u. dgl. nicht seltene Begleiterscheinungen der vulkanischen Ausbrüche. Hier und da wird der Boden unterminiert und senkt sich. Solche Senkungen können natürlich auch da entstehen, wo das nach dem Vulkankanal fließende Wasser größere Massen mit sich reißt.

Gewisse heiße Quellen sind wahrscheinlich aus früheren Vulkanen entstanden, aus Vulkanen, die nunmehr keine eigentliche vulkanische Masse mehr zu Tage fördern, sondern höchstens einige heiße Gase. Der Vulkankanal ist hier bis zu verhältnismäßig großer Tiefe erhalten geblieben, und durch Spalten oder Kanäle fließt dem Vulkankanal mehr oder weniger regelmäßig Wasser zu; durch heiße Gase, die fortdauernd oder in Zwischenräumen aus dem Erdinnern zuströmen, oder, wenn der Vulkankanal sehr tief und also am unteren Teil sehr heiß ist, durch die heißen Wände des Kanals bildet sich Wasserdampf, und durch den Dampfdruck wird dann das Wasser in Bewegung gesetzt und ununterbrochen oder nur zeitweise emporgetrieben; in manchen Fällen ungefähr so, wie ein Injektor Wasser fördert. Bei einigen intermittierenden Quellen fällt das zeitweise emporgetriebene Wasser wieder in die Quelle zurück. Bei vielen Quellen ist das herauskommende Wasser außer mit Wasserdampf auch mit verschiedenen Gasen und festen Stoffen bemengt, was dadurch zu erklären ist, daß das durchströmende Wasser feste Massen auflöst und mitnimmt, und daß Gase vom Erdinnern mitunter zuströmen. Wird das Wasser mit Gasen und festen Stoffen sehr bemengt und im Innern der Quelle verdampft und sehr erhitzt, so werden die Ausströmungen viel heftiger, und die Erscheinung ist nicht viel anders als bei den Vulkanen.

Aus dem Obigen haben wir gesehen, welche ungeheuren kalorischen Kräfte fortwährend in der Natur tätig sind. Ebensowie die treibenden Kräfte bei den von Menschenhand hergestellten Kraftquellen (Dampf- und Gasmaschinen, Wind- und Wasserrädern, Elektromotoren u. s. w.) unmittelbar oder mittelbar aus der Wärme entspringen, so entspringen die hauptsächlich treibenden Kräfte im Weltall auch aus der Wärme.

Gleichwie mechanische, elektrische und magnetische Druck- (Spannungs-)Differenzen Bewegungserscheinungen erzeugen können, so können auch kalorische und optische Druckdifferenzen Bewegungserscheinungen erzeugen.

Wärme und Kälte sind in ihrer Art nicht verschieden. Kälte ist nur ein niedriger Grad von Wärme. Im gewöhnlichen Leben nennen wir einen Körper *warm* oder *kalt,* je nachdem seine Temperatur höher oder niedriger ist als die unserer Haut. Temperatur ist ein Maß der Wärme eines Körpers und wird mit Thermometer gemessen. Die äußersten Temperaturgrenzen, d. h. die höchsten und niedrigsten Temperaturen, welche denkbar sind, kennt man nicht. Zwar glaubt man berechnet zu haben, daß der sogen. *absolute Nullpunkt der Temperatur* (die niedrigste Temperatur oder der größte Kältegrad) bei — 273° C liegt. Die höchste Temperatur wird sehr verschieden berechnet und geschätzt; für die Temperatur des äußeren, Licht aussendenden Teiles der Sonne findet man Zahlenangaben, die zwischen + 4000 und 20000° C liegen, und die Temperatur im Innern der Sonne beträgt vielleicht mehrere Millionen Grad. Die Temperatur im Mittelpunkte der Erde schätzt man auf 15000 bis 100000° C.

38ᵇ. Wärmemenge (𝔚).

Wärme ist eine besondere Art von Energie, kalorische (thermische) Energie. In der technischen Wissenschaft wird als Einheit der Wärme oder der kalorischen Energie diejenige Wärmemenge angenommen, welche erforderlich ist, um bei einem bestimmten und konstanten Drucke die Temperatur von 1 kg chemisch reinen Wassers von 0° auf 1° C zu erhöhen, oder, weil ein Mittelwert immer erwünscht wäre, zumal da das Verhältnis der Wärmeaufnahme zur Temperaturzunahme über der ganzen Thermometerskala nicht vollkommen konstant ist, $^1/_{100}$stel derjenigen Wärmemenge, welche erforderlich ist, die Temperatur von 0° bis auf 100° C zu erhöhen. — Die Wärmeeinheit nennt man *Kalorie* (*cal* — vom lateinischen *calor*), die nach den Versuchen von Joule, Hirn u. a. einer mechanischen Arbeit (bezw. mechanischen Energie) von ungefähr 428 *kg* · *mtr* gleichwertig ist. Eine bestimmte Wärmemenge ist also einer bestimmten Menge mechanischer Energie gleichwertig, dessenungeachtet mißt man in der Technik kalorische Energie und mechanische Energie nicht nach derselben Einheit, sondern diese in *kg* · *mtr* und jene in Kalorien. Im **C. G. S.**-System dagegen ist man konsequenter und mißt die beiden fraglichen Größen nach einer und derselben Einheit (*erg*).

Die Kalorie (1 *cal*) ist 428mal größer als 1 *kg* · *mtr*, 4280mal größer als 1 *kg* · *dm*, $4280 \times 10^4\ \mathring{g}$ mal größer als 1 *erg*. Die Folge davon ist, daß der Dimensionsausdruck der Einheit für Wärme oder für kalorische Energie in einem technischen Maßsystem stets mit einem konstanten Zifferfaktor behaftet wird, vorausgesetzt, daß man die Kalorie als Einheit behält. So z. B. in einem **M. K. S.**-System wird der Dimensionsausdruck der Kalorie lauten $\mathbf{428\ (M\ K)} = \mathbf{1}\ cal$; und wollte man die Kalorie im **C. G. S.**-System benutzen, würde die Dimension $\mathbf{4280} \times \mathbf{10^4}\ \mathring{g}\ (\mathbf{C^2\ G\ S^{-2}}) = \mathbf{1}\ cal$ werden. Das **C. G. S.**-System duldet aber grundsätzlich keine Zifferfaktoren in seinen Dimensionsausdrücken und benutzt also im vorliegenden Falle das Erg $= \mathbf{1\ (C^2\ G\ S^{-2})} = \mathbf{C^2\ G\ S^{-2}}$. Demgemäß ist

$$\mathring{\mathfrak{W}} = \mathring{W}_{\mathrm{m}} = \mathring{K}\ .$$

Man hat wohl auch $^1/_{1000}$stel der Kalorie (1 Millikalorie oder auch 1 Grammkalorie) als philosophische Einheit für Wärme empfohlen. Die Dimension einer Millikalorie ist aber $\mathbf{4{,}280} \times \mathbf{10^4}\ \mathring{g}\ (\mathbf{C^2\ G\ S^{-2}})$ und entspricht also den Grundsätzen des **C. G. S.**-Systems nicht, und dies wird nicht anders, auch wenn man die Millikalorie unter dem wunderbaren Namen *kleine Kalorie* in das **C. G. S.**-System einzuschmuggeln sucht.

39. Temperatur ($\mathfrak{T}$).

Temperatur ist ein Ausdruck oder ein Maß der freien Wärme oder freien kalorischen Energie eines Körpers. *Freie* Wärme (zum Unterschied von *latenter, verborgener* oder *gebundener* Wärme) nennt man diejenige Wärme, die nach außen wahrnehmbar ist oder die auf irgend einen Temperaturmesser (Thermometer, Pyrometer u. s. w.) einwirkt. Auf Grund des im vorhergehenden erwähnten Zusammenhanges zwischen der Temperaturerhöhung bei einer bestimmten Wassermasse (M_{eau}) und der Wärmemenge, welche diese Temperaturerhöhung bewirkt, findet man

$$\mathfrak{W} = \mathfrak{T}\, M_{\text{eau}} = \mathfrak{T}\, G_{\text{eau}},$$

woraus man für die Temperatur erhält

$$\mathfrak{T} = \frac{\mathfrak{W}}{M_{\text{eau}}} = \frac{\mathfrak{W}}{G_{\text{eau}}}.$$

Diese Gleichung bezieht sich nur auf Wasser, und zwar unter bestimmten Bedingungen. Die Wärmemenge, welche nötig ist, die Temperatur der Massen- (bezw. der Gewichts-) Einheit um 1 Grad zu erhöhen, ist nämlich bei den verschiedenen Substanzen sehr verschieden und ist auch von der jeweiligen Temperaturlage abhängig.

Soll die Temperatur $\mathfrak{T}$ in Graden nach der von Celsius angegebenen hundertteiligen Skala ausgedrückt werden, so muß entweder $\mathfrak{W}$ in Kalorien und M (bezw. G) in Kilogrammen, oder auch $\mathfrak{W}$ in Millikalorien und M in Grammen ausgedrückt werden. Im **C. G. S.**-System muß $\mathfrak{W}$ in Ergs und M in Grammen ausgedrückt werden, und wird demnach 1 **C. G. S.**-Temperaturgrad oder 1 Temperatureinheit $= \frac{1}{4{,}280 \times 10^4\, \mathring{g}}$ *Celsius*-Grad, sowie 1 *Celsius*-Grad $\cong$ 42 Millionen **C. G. S.**-Grad oder **C. G. S.**-Temperatureinheiten.

Die Dimension der **C. G. S.**-Temperatureinheit ist

$$\mathring{\mathfrak{T}} = \frac{\mathfrak{W}}{M_{\text{eau}}} = \frac{\mathbf{C}^2\mathbf{G}\mathbf{S}^{-2}}{G} = (\mathbf{C}^2\mathbf{G}\mathbf{S}^{-2})\,\mathbf{G}^{-1} = 1 \textit{ erg} \text{ per } \textit{grm}.$$

Durch Abkürzung bringt man diesen Dimensionsausdruck meistens auf die Form $\mathbf{C}^2\,\mathbf{S}^2$, welche die Temperatureinheit als Quadrat einer Geschwindigkeit $(\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1})^2$ darstellt.

Es bestehen in der Praxis, wie bekannt, nicht weniger als drei Thermometerskalen, nämlich nach Celsius, Réaumur und Fahrenheit. Bezeichnet $\mathfrak{T}_C$, $\mathfrak{T}_R$ und $\mathfrak{T}_F$ die entsprechenden Temperaturgrade der drei Skalen, so ist

$$\mathfrak{T}_C = \tfrac{5}{4}\mathfrak{T}_R = \tfrac{5}{9}(\mathfrak{T}_F - 32),$$
$$\mathfrak{T}_R = \tfrac{4}{5}\mathfrak{T}_C = \tfrac{4}{9}(\mathfrak{T}_F - 32),$$
$$\mathfrak{T}_F = \tfrac{9}{5}\mathfrak{T}_C + 32 = \tfrac{9}{4}\mathfrak{T}_R + 32,$$

denn bei der Skala nach Celsius, Réaumur, Fahrenheit wird
der Gefrierpunkt bezeichnet mit 0° 0° 32°
und der Siedepunkt mit 100° 80° 212°.

Für alle sowohl philosophisch, als auch technisch wissenschaftliche Arbeiten wird die *Celsius*-Skala ausschließlich benutzt.

40. Erwärmung der Körper.

Wenn ein Körper einer Wärmequelle ausgesetzt ist oder in Berührung mit einem wärmeren Körper gebracht wird, erwärmt er sich, er nimmt Wärme oder kalorische Energie auf. Bei gleicher Wärmeaufnahme ist die Temperaturerhöhung aber nicht dieselbe für alle Körper gleichen Gewichtes (bezw. gleicher Masse) oder gleichen Volumens, sondern der Wärmebedarf ist für eine und dieselbe Temperaturerhöhung sehr verschieden. Außerdem ist das Verhältnis der Wärmeaufnahme zur Temperaturerhöhung bei einem und demselben Körper auch von der jeweiligen Temperaturlage abhängig, wodurch die Sache mehr oder weniger verwickelt wird. Trotzdem bestehen schon, wie die technischen Handbücher zeigen, umfassende und auch einigermaßen zuverlässige Koeffizientensammlungen für die spezifische Wärmeaufnahme der verschiedenen Substanzen. Dasselbe gilt in Bezug auf andere Koeffizienten in der Wärmelehre. Dennoch hat die Wärmelehre erheblichen Raum für Verbesserung und Ergänzung, und dies besonders mit Rücksicht auf die vielen für die technische Praxis nötigen Koeffizienten. Seitdem man elektrische Energie zur Verfügung hat, können verschiedene Experimente bequemer und genauer ausgeführt werden als ehedem, und darf man wohl deshalb hoffen, daß die schwierigen Fragen der Wärmelehre nach und nach ihrer Lösung näher kommen.

Spezifische Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit (${}_{\mathfrak{v}}k$) ist diejenige Wärmemenge, welche die Gewichts- oder Masseneinheit einer Substanz aufnehmen oder derselben zugeführt werden muß, um die Temperatur um 1° zu erhöhen. Hat ein Körper vom Gewicht G eine Temperaturerhöhung von $\mathfrak{T}_d$ erlitten, so hat er dabei eine Wärmemenge

$$\mathfrak{W}_p = k_p\, G\, \mathfrak{T}_d$$

aufgenommen oder, weil der Koeffizient k_p nicht nur von der Substanz des Körpers, sondern auch von der Temperaturlage abhängig ist, allgemein

$$\mathfrak{W}_p = G \int_{\mathfrak{T}_1}^{\mathfrak{T}_2} k_p \cdot d\mathfrak{T}.$$

Für reines Wasser wird, praktisch genommen, $k_p = 1$ zwischen den Grenzen $\mathfrak{T}_1 = 0^\circ$ und $\mathfrak{T}_2 = 100^\circ$ C, falls $\frac{1}{100}^{\text{stel}}$ der Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 Gewichtseinheit Wasser von 0° bis auf 100° C zu erhöhen, als Wärmeeinheit bestimmt wird. Wird dagegen die Wärmeeinheit als diejenige Wärmemenge definiert, welche die Temperatur bei 1 Gewichtseinheit Wasser von 0° auf 1° erhöht, so wird k_p für Wasser auch nicht $= 1$, sondern verändert sich mit der Temperatur. Bei einer Temperatur $\mathfrak{T}$ ist nach **Regnault** für Wasser

$$k_p = 1 + 0{,}00004\,\mathfrak{T} + 0{,}0000009\,\mathfrak{T}^2.$$

Die algebraische Definition des Begriffes *spezifische Wärmeaufnahme* erhält man aus den obigen Gleichungen, und sie lautet

$$k_p = \frac{\mathfrak{W}_p}{G\,\mathfrak{T}_d}.$$

Die C. G. S. - Einheitsdimension ist

$$\overset{\circ}{k}_p = \frac{\mathfrak{W}_p}{G\mathfrak{T}_d} = \frac{C^2GS^{-2}}{G\cdot C^2S^{-2}} = 1 \textit{ erg} \text{ per } (\textit{grm} \text{ und C. G. S. - Grad}).$$

Dieser Dimensionsausdruck kann algebraisch zwar auf I reduziert werden; es dürfte jedoch besser sein, den vollständigen Ausdruck zu benutzen.

Die in den technischen Handbüchern (meistens unter dem Namen Wärmekapazität, spezifische Wärme u. s. w.) aufgenommenen numerischen Mittelwerte für die spezifische Wärmeaufnahme repräsentieren in der Regel *cal* per *kg* und *Celsius*-Grad, oder auch *millical* per *grm* und *Celsius*-Grad. Dieselben Zahlen können aber direkt ebenfalls für das C. G. S.-System benutzt werden und bedeuten dann *erg* per *grm* und C. G. S.-Grad.

41. Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit ($k_{\mathfrak{r}}$).

Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit ist das numerische Verhältnis der spezifischen Wärmeaufnahme ($k_{\mathfrak{p}.2}$) einer Substanz zur spezifischen Wärmeaufnahme ($k_{\mathfrak{p}.1}$) einer anderen Substanz, mit welcher man die übrigen Substanzen vergleicht. Es ist üblich, feste und flüssige Substanzen mit Wasser und gasförmige mit Luft zu vergleichen. Man hat

$$k_{\mathfrak{r}} = \frac{k_{\mathfrak{p}.2}}{k_{\mathfrak{p}.1}},$$

und wird die Einheitsdimension = I.

Auf Grund des angenommenen Zusammenhanges der Einheit der Wärme und der der Temperatur in Bezug auf eine bestimmte Menge Wasser, ist auch die spezifische Wärmeaufnahme des Wassers numerisch gleich 1 geworden, und hierdurch erhält man dieselben Zahlen für relative wie für spezifische Wärmeaufnahme.

42. Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit ($k_{\mathfrak{v}}$).

Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit ist diejenige Wärmemenge, die eine Substanz per Volumeneinheit aufnehmen muß, um eine Temperaturerhöhung von 1 Grad zu bekommen. Bei einer Temperaturerhöhung $\mathfrak{T}_{\mathrm{d}}$ ist, algebraisch formuliert, die Wärmemenge

$$\mathfrak{W}_{\mathfrak{v}} = k_{\mathfrak{v}} V \mathfrak{T}_{\mathrm{d}}$$

oder infolge der Veränderlichkeit des Koeffizienten $k_{\mathfrak{v}}$ bezüglich der Temperaturlage allgemein

$$\mathfrak{W}_{\mathfrak{v}} = V \int_{\mathfrak{T}_1}^{\mathfrak{T}_2} k_{\mathfrak{v}} \cdot d\mathfrak{T}.$$

Für den Koeffizienten hat man

$$k_{\mathfrak{v}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{v}}}{V \mathfrak{T}_{\mathrm{d}}},$$

und ist seine Dimension

$$\overset{\circ}{k}_{v} = \frac{\mathfrak{W}_{v}}{V \cdot \mathfrak{T}_{d}} = \frac{C^{2} G S^{-2}}{C^{3} \cdot C^{2} S^{-2}} = 1 \text{ } \mathit{erg} \text{ per } (\mathit{cm}^{3} \text{ und C. G. S.-Grad}).$$

43. Wärmeleitvermögen.

Das Wärmeleit(ungs)vermögen ist bei den verschiedenen Substanzen verschieden. Die Wärmemenge ($\mathfrak{W}_{c}$), welche sich während einer Zeit t von einer Seitenfläche (der Wärme aufnehmenden Fläche) eines Körpers nach der gegenüberliegenden Seitenfläche (der Wärme abgebenden Fläche) fortbewegt, läßt sich annäherungsweise berechnen, wenn der Wärmeleitungskoeffizient k_{c} für die betreffende Substanz und Temperaturlage bekannt ist, und wenn die übrigen, nicht in Betracht kommenden Seiten des Körpers gegen Wärmeverlust vollständig isoliert sind. Ist die Temperaturdifferenz zwischen den zwei fraglichen Flächen $\mathfrak{T}_{d}$, der Abstand dieser Flächen voneinander l und die Größe jeder dieser Flächen oder des Querschnittes des Wärmedurchganges S, so ist

$$\mathfrak{W}_{c} = k_{c} \frac{S t \mathfrak{T}_{d}}{l}.$$

Nur zwischen sehr nahe liegenden Temperaturgrenzen kann der Koeffizient k_{c} als einigermaßen konstant angesehen werden, und mit Rücksicht auf die Abhängigkeit des Koeffizienten von der Temperaturlage hat man, wenn $\mathfrak{T}_{1}$ und $\mathfrak{T}_{2}$ die Temperatur der beiden Seitenflächen bezeichnen, allgemein die Gleichung

$$\mathfrak{W}_{c} = \frac{S t}{l} \int_{\mathfrak{T}_{1}}^{\mathfrak{T}_{2}} k_{c} \cdot d\mathfrak{T}.$$

Diese Gleichungen geben aber nur ein annähernd brauchbares Ergebnis, wenn l sehr klein ist, wie das bei Platten, dünnen Wänden u. dgl. der Fall ist.

Für den Koeffizienten ergibt sich die Gleichung

$$k_{c} = \frac{\mathfrak{W}_{c} l}{S t \mathfrak{T}_{d}}.$$

und wird die Dimension seiner C. G. S.-Einheit

$$\frac{C^2\,G\,S^{-3}}{C\cdot C^2\,S^{-2}} = 1 \text{ (\textit{erg} per \textit{sec}) per (\textit{cm} und C.G.S.-Grad)} .$$

Falls man durch Abkürzung den Dimensionsausdruck auf die Form $C^{-1}\,G\,S^{-1}$ brächte, würde er sinnlos werden.

Zahlenwerte des Wärmeleitungskoeffizienten, die z. B. in Kalorien per Stunde, Quadratmeter und *Celsius*-Grad bei 1 Centimeter Platten- oder Wandstärke angegeben sind, können für das C. G. S.-System benutzt werden, wenn sie durch $3{,}6 \times 10^4$ dividiert werden.

44. Wärmestrahlungsvermögen.

Die Wärmemenge $\mathfrak{W}_s$, welche während einer Zeit t von einer Fläche S eines Körpers ausgestrahlt oder ausgesandt wird, ist, wenn $\mathfrak{T}_d$ die Temperaturdifferenz zwischen den Temperaturen der Wärme ausstrahlenden Fläche und des angrenzenden, Wärme aufnehmenden Stoffes, k_s = den Wärmestrahlungskoeffizienten und k_t einen Koeffizienten, der auf die relative Beschaffenheit der Ausstrahlungsfläche Bezug hat, bezeichnet,

$$\mathfrak{W}_s = k_t k_s S t \mathfrak{T}_d$$

oder, weil k_s sowohl mit der Substanz des Körpers, als auch mit der Temperaturlage wechselt, allgemein

$$\mathfrak{W}_s = k_t S t \int_{\mathfrak{T}_1}^{\mathfrak{T}_2} k_s \cdot d\mathfrak{T} .$$

Die algebraische Definition des Wärmestrahlungskoeffizienten ist

$$k_s = \frac{1}{k_t} \frac{\mathfrak{W}_s}{S t \mathfrak{T}_d} .$$

Die Einheitsdimension des Koeffizienten k_t ist = I, und die des Wärmestrahlungskoeffizienten

$$\overset{\circ}{k}_s = \frac{1}{k_t} \cdot \frac{\mathfrak{W}_s}{t} \cdot \frac{1}{S \cdot \mathfrak{T}_d} = \frac{C^2\,G\,S^{-3}}{C^2 \cdot C^2\,S^{-2}} = 1 \text{ (\textit{erg} per \textit{sec}) per (\textit{cm}}^2 \text{ und C.G.S.-Grad)}.$$

Werte aus der Praxis für den Wärmestrahlungskoeffizienten, welche z. B. in Kalorien per Stunde, Quadratmeter und *Celsius*-Grad angegeben sind, können für das C. G. S.-System benutzt werden, wenn sie durch $3{,}6 \times 10^4$ dividiert werden.

45. Ausdehnung der Körper durch Wärme.

Wenn die Temperatur eines Körpers geändert wird, erleidet der Körper eine Volumenänderung, Ausdehnung oder Zusammenziehung. Mit zunehmender Temperatur nimmt das Volumen zu und mit abnehmender Temperatur ab. Die Ausdehnung (bezw. die Zusammenziehung) ist bei den verschiedenen Substanzen verschieden und im allgemeinen der Temperaturänderung nicht proportional. Ist der betreffende Körper nach allen Richtungen hin frei, so dehnt er sich auch überall hin verhältnismäßig gleich aus; andernfalls dehnt er sich nur in der Richtung aus, nach welcher er frei ist, wie z. B. das Quecksilber in einem Thermometer. Bei einem Thermometer dehnt sich natürlich auch das Glas aus, wodurch der innere Durchmesser der Röhre und zugleich auch des Quecksilbersäulchens sich etwas vergrößert; die Ausdehnung des Quecksilbers ist jedoch eine weit größere als die des Glases.

Wenn die Temperatur eines freien, homogenen starren Körpers von der Länge l durch gleichmäßige Erwärmung um $\mathfrak{T}_d$ Grad erhöht wird, vergrößert sich seine Länge, und, wenn der *lineare Ausdehnungskoeffizient* oder der Koeffizient für Längenausdehnung mit k_b und die neue Länge mit l_1 bezeichnet wird, erhält man

$$l_1 - l = \Delta l = k_b\, l\, \mathfrak{T}_d$$

oder allgemein

$$l_1 - l = l \int_{\mathfrak{T}_1}^{\mathfrak{T}_2} k_b \cdot d\mathfrak{T},$$

weil k_b in der Regel bei den verschiedenen Temperaturlagen verschieden ist.

Man hat auch für die neue Länge

$$l_1 = l\,(1 + k_b\, \mathfrak{T}_d).$$

Für den linearen Ausdehnungskoeffizienten ergibt sich die Gleichung

$$k_b = \frac{\Delta l}{l}\,\frac{1}{\mathfrak{T}_d} =$$

spezifischem Längenzuwachs per Temperaturgrad. Hieraus ersieht man, daß der numerische Wert des Koeffizienten im allgemeinen viel kleiner als 1 sein muß, denn er würde nur gleich 1 werden können, falls die Länge sich verdoppelte ($l_1 = 2\,l$ oder $\Delta l = l$) bei einer Temperaturerhöhung von 1 Grad.

Die **C. G. S.**-Einheitsdimension ist gleich

$$\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{C}(\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2})\,\mathbf{G}^{-1}} = \frac{\mathbf{C}}{\mathbf{C}\cdot\mathbf{C}^2\,\mathbf{S}^{-2}} \text{ oder eventuell } \frac{\mathbf{I}}{(\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2})\,\mathbf{G}^{-1}} = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{C}^2\,\mathbf{S}^{-2}}$$

$= 1$ *cm* per (*cm* und **C. G. S.**-Grad).

Die in den technischen Handbüchern enthaltenen Zahlenwerte des Koeffizienten $k_\mathfrak{b}$ geben spezifischen Längenzuwachs per *Celsius*-Grad an und können für das **C. G. S.**-System benutzt werden, wenn sie durch $4{,}280 \times 10^4\ \mathring{g}$ dividiert werden.

Der Koeffizient für die *Flächenausdehnung* ist annähernd gleich $2\,k_\mathfrak{b}$, und der für die *Raumausdehnung* annähernd gleich $3\,k_\mathfrak{b}$.

Das im vorhergehenden in Bezug auf die Ausdehnung der Körper durch Erwärmung (Temperaturerhöhung) Gesagte gilt innerhalb derselben Grenzen auch für die Zusammenziehung der Körper durch Abkühlung (Temperaturverminderung).

Wenn sich die Körper durch Temperaturänderung ausdehnen oder zusammenziehen, wirken bedeutende Kräfte. Wir sahen eben, daß der Längenzuwachs, den ein Körper durch die Einwirkung kalorischer Kräfte ($\mathfrak{F}$) erfährt innerhalb der Grenzen, zwischen welchen die Ausdehnung der Temperaturerhöhung, praktisch genommen, als proportional angesehen werden darf, zum Ausdruck gebracht werden kann durch die Gleichung

$$\Delta l = k_\mathfrak{b}\, l\, \mathfrak{T}_\mathrm{d},$$

und in Artikel 32 finden wir, daß der Längenzuwachs, den ein Stab durch die Einwirkung einer mechanischen Belastung erfährt, dargestellt werden kann durch die Gleichung

$$\Delta l = k_\mathrm{e} \frac{F_\mathrm{m}\, l}{S} = \frac{1}{k_\mathrm{i}} \frac{F_\mathrm{m}\, l}{S}.$$

Aus der letzten Gleichung erhält man

$$F_\mathrm{m} = \frac{\Delta l}{l} k_\mathrm{i}\, S,$$

und setzt man in diese Gleichung für Δl den obigen Ausdruck ein, so ergibt sich

$$F_\mathrm{m} = k_\mathfrak{b} k_\mathrm{i}\, S\, \mathfrak{T}_\mathrm{d} = \mathfrak{F}$$

als Ausdruck der mechanischen Kraft, welche durch das Ausdehnen (bezw. Zusammenziehen) zur Wirkung kommt. Da diese Kraft F_m längs des Weges Δl wirkt, so verrichtet sie eine mechanische Arbeit

$$W_m = F_m \Delta l = k_b k_i S \mathfrak{T}_d \Delta l$$

oder, weil $\Delta l = k_b l \mathfrak{T}_d$ ist,

$$W_m = k_b^2 k_i S l \mathfrak{T}_d^2 .$$

46. Schmelzwärme.

Wird ein starrer Körper unter den Einfluß einer hinreichend starken Wärmequelle gebracht, so erhöht sich die Temperatur fortschreitend bis zu dem Augenblicke, wo der Körper anfängt zu schmelzen (der Schmelzpunkt) oder in flüssige Form überzugehen. Während der Änderung des Aggregatzustandes, also in diesem Falle während des Schmelzens, findet keine Temperaturerhöhung statt, obgleich der schmelzende Körper unausgesetzt Wärme aufnimmt, und erst nachdem die ganze Masse des Körpers aus dem starren in den flüssigen Zustand übergegangen ist, fängt die Temperatur an wieder zu steigen. Eine ähnliche Erscheinung findet beim Verdampfen der Körper statt. Die während des Schmelzens und Verdampfens aufgenommene Wärme wird gebunden (latent), wird aber wieder frei (und kann gemessen werden) bei den umgekehrten Vorgängen, beim Erstarren und Kondensieren. Auch während ein Körper durch Auflösung aus dem starren in den flüssigen Zustand versetzt wird, wird Wärme gebunden. Die für das Schmelzen allein nötige (latente) Wärmemenge nennt man *Schmelzwärme*, und diese ist bei den verschiedenen Substanzen sehr verschieden. Bezeichnet k_f die *spezifische Schmelzwärme* oder die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um eine Gewichtseinheit (bezw. Masseneinheit) der betreffenden Substanz aus dem starren in den flüssigen Zustand ohne Temperaturerhöhung (also bei der Schmelztemperatur) zu versetzen, so ist für einen Körper vom Gewicht G die nötige Schmelzwärme

$$\mathfrak{W}_f = k_f G .$$

Hieraus ergibt sich für die spezifische Schmelzwärme der Ausdruck

$$k_f = \frac{\mathfrak{W}_f}{G} .$$

Die C. G. S.-Einheitsdimension des Koeffizienten wird also $(C^2 G S^{-2}) G^{-1} = 1$ *erg* per *grm.*

Die Zahlenwerte der spezifischen Wärme, welche in den technischen Handbüchern zu finden sind, bezeichnen *cal* per *kg* und können für das C. G. S.-System benutzt werden, wenn man sie mit $4{,}280 \times 10^4\, \mathring{g}$ multipliziert.

47. Verdampfungswärme.

Wenn ein flüssiger Körper (eine Flüssigkeit) unter den Einfluß einer hinreichend starken Wärmequelle gebracht wird, erhöht sich die Temperatur der Flüssigkeit, und wenn eine gewisse Temperatur, Verdampfungstemperatur (der Siedepunkt — Kochpunkt), erreicht wird, fängt die Flüssigkeit an zu sieden, und eine Änderung des Aggregatzustandes tritt ein: die Flüssigkeit geht nach und nach in Gas oder Dampf über. Bleibt nun der äußere Druck konstant, so erhöht sich die Temperatur nicht, so lange noch ein Teil der Flüssigkeit vorhanden ist, wenngleich während des Verdampfens immerfort Wärme verbraucht (gebunden, latent) wird. Die für das Verdampfen nötige Wärmemenge, welche also keine Temperaturerhöhung bewirkt, nennt man *Verdampfungswärme*, die bei den verschiedenen Substanzen verschieden ist. Beim Kondensieren oder Verdichten des Dampfes zur Flüssigkeit wird die beim Verdampfen gebundene Wärme wieder frei. — Bezeichnet k_s die *spezifische Verdampfungswärme*, die per Gewichtseinheit (bezw. Masseneinheit) der Substanz erforderliche Wärmemenge, so ist die für einen Körper vom Gewicht G erforderliche Verdampfungswärme gegeben durch die Gleichung

$$\mathfrak{W}_s = k_s G\,.$$

Für die spezifische Verdampfungswärme ergibt sich dann

$$k_s = \frac{\mathfrak{W}_s}{G}\,.$$

Die C. G. S.-Einheitsdimension des Koeffizienten wird demnach $(C^2 G S^{-2}) G^{-1} = 1$ *erg* per *grm.*

In der Praxis gibt man die spezifische Verdampfungswärme in *cal* per *kg* an, und werden die hierauf bezüglichen Zahlen mit $4{,}280 \times 10^4\, \mathring{g}$ multipliziert, so können sie für das C. G. S.-System benutzt werden.

48. Verbrennungswärme.

Bei der Verbrennung eines Körpers (Brennstoffes, Heizmaterials) entwickelt sich eine bestimmte Menge Wärme, *Verbrennungswärme* ($\mathfrak{W}_{\mathfrak{h}}$); die gebundene Energie des Brennstoffes wird frei. Die Verbrennung ist ein chemischer Vorgang, der besonders durch Scheele, Priestley und Lavoisier aufgeklärt wurde. Der Letzte wies nach, daß weder bei der Verbrennung, noch bei anderen chemischen Vorgängen Stoff vernichtet wird und stellte so den *Grundsatz von der Erhaltung des Stoffes* fest. Wenn G das Gewicht des Körpers und $k_{\mathfrak{h}}$ die *spezifische Verbrennungswärme* bezeichnet, so ist

$$\mathfrak{W}_{\mathfrak{h}} = k_{\mathfrak{h}}\, G\,,$$

Die spezifische Verbrennungswärme (auch Heizwert genannt) eines Stoffes ist diejenige Wärmemenge, die bei der vollkommenen Verbrennung einer Gewichtseinheit des fraglichen Stoffes entwickelt wird. Der Koeffizient für spezifische Verbrennung ist also

$$k_{\mathfrak{h}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{h}}}{G}\,,$$

und seine **C. G. S.**-Einheitsdimension $(\mathbf{C}^2\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2})\,\mathbf{G}^{-1} = 1$ *erg* per *grm.*

In der Praxis benutzt man als Einheit *cal* per *kg.* Multipliziert man die praktischen numerischen Werte des fraglichen Koeffizienten mit $4{,}280 \times 10^4\, \mathring{g}$, so erhält man entsprechende Werte für das **C. G. S.**-System.

D. Optische Größen und ihre Maßeinheiten.

49ª. Allgemeines über das Licht.

Wird die Temperatur eines Körpers fortwährend gesteigert, so fängt der Körper an, nachdem er eine gewisse Temperatur erreicht hat, selbstleuchtend oder für unser Auge sichtbar zu werden, Licht zu erzeugen, indem er eine Reihe *kalorischer Farben* (Temperaturfarben, Glühfarben) annimmt, wovon jede einer bestimmten Temperatur entspricht. Es bedarf also einer bestimmten Temperaturänderung, um die kalorische Farbe eines Körpers oder die Intensität oder Stärke des von dem Körper ausgesandten (ausgestrahlten) Lichtes zu ändern. Der Übergang von einer Farbe bezw. von einer Lichtstärke zu einer anderen geschieht allmählich. Die erste vom menschlichen Auge in einem dunkeln Raume wahrnehmbare kalorische Farbe an einem erhitzten Körper ist eine dunkelbraune, und das erste in der Umgebung des erhitzten Körpers wahrnehmbare Licht ist ein schwaches, graues, unbestimmtes Schimmern und erscheint anfänglich, besonders wenn die leuchtende Oberfläche etwas rauh und die Temperatur der nächsten Umgebung nicht absolut konstant ist, etwas unruhig, zuckend und glimmend. Diese erste, dem menschlichen Gesichtsorgan mehr oder weniger empfindbare Farben- oder Lichterscheinung ist nicht immer genau dieselbe, sondern von der Substanz, Oberflächenbeschaffenheit, *optischen Farbe* und stofflichen Umgebung des erhitzten Körpers abhängig. Die Empfindlichkeit der Sehnerven ist auch bei den verschiedenen Menschen eine verschiedene. Nimmt die Temperatur des betreffenden Körpers fortwährend zu, so ändert sich auch die kalorische Farbe des Körpers, indem der Körper nach und nach seine Farbe von dem erwähnten braun zu rot, gelb u. s. w. bis zu weiß ändert, und mit diesen Farben des leuchtenden Körpers ändert sich natürlich auch die Stärke des vom Körper ausgesandten Lichtes, indem das Licht immer heller oder intensiver wird. Das menschliche Gesichtsorgan kann bei einigen festen Körpern schon bei einer Temperatur desselben von etwa 375—400° C mehr oder weniger deutliche und bei den meisten festen Körpern bei einer Temperatur zwischen 450 und 550° C (Anfangs-Glühtemperaturen) ganz deutliche Farben- und Lichterscheinungen wahrnehmen. Nach Draper sollen alle feste Körper sogar bei derselben Temperatur und zwar bei 525° C zu leuchten anfangen. Wenn ein Körper infolge Temperaturerhöhung oder Erhitzung eine deutliche rote Farbe erreicht hat, so sagt man, der Körper fängt an zu glühen; zuerst erscheint die sogenannte Rotglut und zuletzt die Weißglut. — Ist der Körper brennbar, fängt er bei einer bestimmten Temperatur (Entzündungstemperatur) an zu brennen (zu oxydieren infolge Erhitzung), falls er Gelegenheit hat, sich mit Sauerstoff (Oxygen) zu verbinden. Durch die Verbrennung wird eine bedeutende Temperatur (Verbrennungstemperatur) erzeugt, und je höher die Verbrennungstemperatur ist, um so intensiver glühen und leuchten die in den Flammen vorhandenen festen Substanzen. Die Entzündungs- und Verbrennungstemperatur ist nicht für alle

Substanzen dieselbe, und sie ist auch von verschiedenen äußeren Umständen abhängig.

Das Leuchten oder die Lichtentwickelung einer Flamme beruht hauptsächlich auf dem Vorhandensein fester Substanzen: entweder fester Stoffpartikeln (z. B. Kohlenstoffpartikeln bei den gewöhnlichen einfachen Leuchtgas- und Stearinflammen), die von dem brennenden Körper ausgeschieden, also in der Flamme selbst erzeugt werden (z. B. bei der gewöhnlichen Leuchtgasflamme, in welcher der Wasserstoff zuerst verbrennt, wodurch der Kohlenstoff frei wird und infolge der hohen Verbrennungstemperatur des Wasserstoffes in starkes Glühen kommt und dann so lange Licht aussendet, bis er im äußeren Teil der Flamme genügend Sauerstoff findet, um zu Kohlensäure zu verbrennen), oder auch fester Körper, die von außen in die Flamme eingeführt und durch die Wärmeentwickelung der Flamme zum Glühen gebracht werden. Führt man dem Leuchtgas vor der Verbrennung genügend Luft oder Sauerstoff zu, so verbrennt der Kohlenstoff des Gases sofort im Innern der Flamme, und das Leuchten der Flamme hört fast ganz auf. Hierbei findet eine lebhafte Verbrennung statt, und die Temperatur der Flamme erhöht sich dabei ganz bedeutend.

Ein leuchtender oder Licht aussendender Körper (abgesehen von der Fluorescenz und der Phosphorescenz) ist im allgemeinen dasselbe wie ein glühender Körper. Da eine gewisse Wärmemenge, also eine gewisse Menge von Energie, erforderlich ist, um einem Körper eine bestimmte Glühtemperatur, eine bestimmte Glühhitze, zu erteilen, so kann man auch sagen, daß eine gewisse Energiemenge erforderlich ist, um eine bestimmte Leuchtstärke zu erzeugen. — Die Körper können auf verschiedene Art und Weise zum Glühen und Leuchten gebracht werden: durch Erhitzung der Körper in einer Flamme, z. B. das Glühen der Kohlenstoffpartikeln in einer Leuchtgas-, Stearin- oder Petroleumflamme, das Glühen unverbrennlicher Körper (Glühkörper nach Auer von Welsbach u. dgl.) oder das Glühen in einem beliebigen Feuer (das Glühen des Eisens in einem Kohlenfeuer u. dgl.); durch Erhitzung mittels Elektrizität, z. B. bei den Glüh- und Bogenlampen, bei der elektrischen Schweißung und Schmelzung u. a. m.; durch Erhitzung infolge chemischer Reaktionen u. s. w. Um nun eine bestimmte Stärke des auf diese oder jene Weise erzeugten Lichtes aufrecht zu erhalten, muß eine entsprechende Wärme- oder Energiemenge in der Zeiteinheit erzeugt oder zugeführt werden. Es muß somit in der Zeiteinheit eine bestimmte Menge von Leuchtgas, Stearin, Petroleum u. s. w. verbrannt und eine bestimmte Menge elektrischen Stromes zugeführt werden, um bei dem betreffenden Körper eine bestimmte, konstante Glüh- und Leuchtstärke aufrecht zu erhalten.

Wenn die Temperatur des Licht aussendenden Körpers, der Lichtquelle, konstant erhalten wird, so würde das Leuchtvermögen ebenfalls konstant bleiben, falls die Licht aussendende Fläche des Körpers keine Veränderung in Betreff der Ausdehnung, Farbe, Ebenheit, Dichte u.s.w. erlitte; aber in Wirklichkeit kann die glühende Fläche nicht lange in absolut gleicher Beschaffenheit erhalten werden, denn einesteils kann bei oxydierbaren Körpern die Oxydation nicht ganz und gar verhindert werden, und anderenteils wird die Substanz des Körpers infolge der großen Hitze mehr oder weniger verändert und nach und nach zerstört.

Das Leuchtvermögen ist bei den verschiedenen Substanzen verschieden. In Hinsicht auf das spezifische und relative Leuchtvermögen der Körper (bezw. der Fläche verschiedener Körper) hat man hierüber noch nicht genügend zuverlässige Angaben, um die Sache sicher beurteilen zu können. — Es liegt auf der Hand, daß diejenigen Substanzen, welche auf die höchste Temperatur gebracht werden können, ohne zu oxydieren oder sich sonstwie zu verändern, die größte Lichtwirkung erzeugen, und ferner, daß die Ökonomie einer Lichtquelle in Bezug auf den Energieverbrauch größer wird, je weniger Energie (z. B. elektrische Energie W_e) man braucht, um eine bestimmte Lichtmenge (optische Energie $\mathfrak{W}_x$) zu erzeugen.

Die Leuchtstärke eines Körpers von bestimmter Form und konstanter Beschaffenheit der Leuchtfläche oder die von einem solchen Körper erzeugte Lichtstärke wird gesteigert, wenn das Verhältnis der Energie, welche dem leuchtenden Körper in der Zeiteinheit zugeführt wird, zu dem Wärmestrahlungsvermögen des Körpers vergrößert wird; d. h. je kleiner die Wärmestrahlung gemacht werden kann, um so stärker wird bei gleichbleibender Energiezuführung das vom Körper ausgesandte Licht sein. In welcher numerischen Beziehung die Leuchtstärke zu der in der Zeiteinheit zugeführten Energie bei den verschiedenen Körpern unter sonst ganz gleichen Verhältnissen steht, kennt man bis jetzt sehr wenig. Bei den elektrischen Glühlampen hat man gefunden, daß sich die Leuchtstärke und folglich auch die erzeugte Lichtstärke bei etwa normaler Glühtemperatur der Kohlenfäden annähernd mit der dritten Potenz des zugeführten oder verbrauchten elektrischen Effekts ändert.

Falls man annehmen dürfte, daß alle andere Substanzen sich genau wie die Glühlampenkohle verhielten, wenn sie sich in physikalisch analogen Zuständen befinden, so würde man die Leucht- und Lichtstärke zum Ausdruck bringen können durch die Gleichung

$$\mathfrak{J} = \frac{1}{k_m} \frac{\left(\frac{P}{S}\right)^3}{\left(\frac{\mathfrak{W}_s}{t\,S}\right)^2} = \frac{1}{k_m} \frac{\left(\frac{P}{S}\right)^3}{(k_s\,\mathfrak{T}_d)^2} .$$

Hierin bezeichnet P die gesamte in der Zeiteinheit zugeführte, den betreffenden Körper erhitzende Energie, $\frac{\mathfrak{W}_s}{t}$ die gesamte in der Zeiteinheit ausgestrahlte kalorische Energie, k_s den Koeffizienten der Wärmestrahlung, welcher aber nur innerhalb sehr enger Temperaturgrenzen und für bestimmte Beschaffenheit der Strahlungsfläche als konstant angesehen werden kann, S die Wärme und Licht aussendende Fläche (die Strahlungsfläche) des Körpers, $\mathfrak{T}_d$ den Unterschied zwischen der Temperatur der Strahlungsfläche und der der unmittelbaren Umgebung und k_m einen numerisch konstanten Koeffizienten. — Selbstverständlich muß dem betreffenden Körper so viel Energie in der Zeiteinheit zugeführt werden, daß er zum Glühen kommt, wenn das menschliche Auge imstande sein soll, die ausgesandte optische Energie zu *sehen* oder als Licht zu empfinden.

Das Verhältnis der erreichten Leuchtstärke zu dem zur Erhitzung verbrauchten Effekt $\left(\frac{\mathfrak{J}}{P}\right)$ gibt den optischen oder, genauer ausgedrückt, den photometrisch-optischen Wirkungsgrad des leuchtenden Körpers an, und der reziproke Ausdruck oder das Verhältnis $\left(\frac{P}{\mathfrak{J}}\right)$ drückt den per Einheit der Leuchtstärke verbrauchten Effekt aus. Das Verhältnis der erreichten Leuchtstärke zu der Licht aussendenden Fläche $\left(\frac{\mathfrak{J}}{S}\right)$ gibt ein Maß der Helligkeit der leuchtenden Fläche, sowie auch ein Maß der in der Zeiteinheit dem

Körper mit einem gewissen Drucke ($\mathfrak{D}_x$) entströmenden optischen Energie per Flächeneinheiten an. Die Leucht- bezw. Lichtstärke ist gleich dem spezifischen optischen Effekt, dem optischen Effekt per Flächeneinheit. Demnach ist

$$\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{P}_x}{S},$$

woraus sich der optische Effekt

$$\mathfrak{P}_x = \mathfrak{J}\, S$$

ergibt. Die optische Energie ist

$$\mathfrak{W}_x = \mathfrak{J}\, S\, t,$$

und der Wirkungsgrad der Leucht- bezw. Lichtquelle ist

$$\eta\,\mathfrak{c} = \frac{\mathfrak{P}_x}{P},$$

wenn P den zugeführten Effekt bezeichnet.

49^{b}. Lichtstärke ($\mathfrak{J}$).

Die Lichtstärke oder der spezifische optische Effekt einer Lichtquelle wird auf photometrischem Wege durch gewisse vorgeschriebene Messungen und durch Vergleich mit einem sogen. *Normal-Lichtmaße* ermittelt.

Denkt man sich die Lichtquelle als eine leuchtende Sphäre, einen leuchtenden materiellen Punkt, so breitet sich das Licht radial und mit gleicher Stärke nach allen Richtungen hin aus. So würde z. B. die innere, konkave Fläche einer hohlen Sphäre überall die gleiche Beleuchtung erhalten, wenn sich ein leuchtender Punkt im Zentrum des sphärischen Hohlraumes befände. Selbstleuchtende Himmelskörper, die Sonne u.s.w., können als sphärische Lichtquellen angesehen werden. Das von einer sphärischen Lichtquelle unter bestimmten Verhältnissen ausgesandte Licht würde als geeignete Einheit der Lichtstärke, als Lichteinheit, dienen können, aber bis jetzt haben wir keine künstliche Lichtquelle, welche nach allen Richtungen hin eine gleiche Lichtwirkung hervorbringt, oder welche eine homogen-sphärische Lichtstärke besitzt, und bei den üblichen Lichtmessungen kommt es ja auch nicht darauf an, die gesamte erzeugte optische Energie zu ermitteln, sondern nur die Leuchtfähigkeit der Lichtquellen untereinander und für bestimmte Zwecke festzustellen. Die Lichtstärke in einem bestimmten Punkte der *Photosphäre* (von φωτός und σφαῖρα), des Beleuchtungsbereiches einer Lichtquelle, ist wahrscheinlich der optischen Energie, welche in der Zeiteinheit durch diesen Punkt strömt, direkt proportional.

Bei der Lichtmessung bedient man sich eines *Photometers* und eines sogen. Normal-Lichtmaßes und vergleicht die Lichtwirkung des Normal-Lichtmaßes in *einer* bestimmten Richtung mit der Lichtwirkung der zu messenden Lichtquelle in *einer* oder *mehreren* Richtungen. Die Lichtstärke des Lichtmaßes wird gewöhnlich auch als Lichteinheit betrachtet, obgleich die gesamte Lichtstärke sehr verschieden sein kann bei sonst gleichwertigen Lichtmaßen. Sowohl das benutzte Lichtmaß, als auch die Lichteinheit wird bisweilen Normalkerze oder Einheitskerze genannt. — Eine wirkliche Lichteinheit besteht aber noch nicht; man hat bislang nur Lichtmaße.

Bei den künstlichen Lichtquellen kann man, nach dem vorhin Gesagten, von einer vollkommen homogen-sphärischen Lichtstärke nicht sprechen, sondern höchstens in einigen Fällen von einer mittleren annähernd sphärischen Lichtstärke, welche dann dadurch ermittelt wird, daß die Lichtquelle in einer bestimmten, um sie beschriebenen sphärischen Fläche unter verschiedenen Winkeln ausgemessen und das Mittel aus den Messungen genommen wird. Für praktische Zwecke kommt häufig besonders die Lichtstärke in der unteren halbsphärischen Fläche, die mittlere hemisphärische Lichtstärke, in Frage. Zuweilen wird nur die horizontale oder auch die unter einem gewissen Winkel gemessene Lichtstärke angegeben, was man nicht vergessen darf, wenn von der Lichtstärke einer Lichtquelle die Rede ist.

Das Lichtmaß muß stets nach gegebenen Vorschriften benutzt werden und kann deshalb, da es nur auf die Lichtwirkung nach einer Richtung hin ankommt, verschiedene Formen haben: eine Flamme, z. B. von einer Hefner-Lampe, Carcel-Lampe, englischen Spermaceti-(Walrat-)Kerze (Normalkerze, NK), eine glühende, ebene Platinfläche bei bestimmter Temperatur (nach Violle und Siemens), ein unter bestimmten umgebenden Verhältnissen glühender zylindrischer Körper von bestimmtem Stoff und bestimmter Länge u. s. w. Um den praktischen Wert eines Lichtmaßes zu beurteilen, muß man auch die Lichtfarbe des Lichtmaßes berücksichtigen.

Wegen der Aufstellung von Dimensionsausdrücken für die Einheit der Lichtstärke und für die Einheiten anderer optischer Größen bedarf man einer algebraischen Definition der Leucht- und Lichtstärke. Nehmen wir vorläufig oder bis anders bestimmende Erfahrungen vorliegen an, daß die Lichtstärke in einem bestimmten Punkte oder in einer bestimmten Fläche der in diesem Punkte oder in dieser Fläche in der Zeiteinheit durchströmenden optischen Energie proportional und äquivalent ist, und daß die Leuchtstärke aller Körper bei einer Art von Normal-Glühzustand der dritten Potenz der für die Erhitzung des leuchtenden Körpers wirklich aufgewandten Energie direkt proportional ist, so hat man für jeden leuchtenden Körper, also auch für diejenigen Körper, welche bei den verschiedenen Lichtmaßen leuchten und Licht aussenden, die schon angeführten Gleichungen

$$\mathfrak{J} = \frac{1}{k_m} \frac{\left(\frac{P}{S}\right)^3}{(k_s\, \mathfrak{T}_d)^2} = \frac{1}{k_m} \frac{\mathfrak{W}_x}{S\, t} .$$

Hieraus ergibt sich dann für die Einheit der Lichtstärke im **C.G.S.**-System der Dimensionsausdruck

$$k_m (\mathbf{C}^2\, \mathbf{G}\, \mathbf{S}^{-3})\, \mathbf{C}^{-2} = k_m (\mathit{erg} \text{ per } \mathit{sec}) \text{ per } \mathit{cm}^2 .$$

Zwar ist die Einheitsdimension des Koeffizienten $k_m = \mathbf{I}$, wenn aber das Licht der Einheit für das menschliche Auge sichtbar sein soll, so muß man auch im **C. G. S.**-System den fraglichen Dimensionsausdruck mit einem konstanten Zifferfaktor versehen, dessen Größe natürlich von der Größe der gewählten Lichteinheit abhängig sein wird.

50. Lichtstrom ($\mathfrak{S}$).

Das ganze Licht, das von einer Lichtquelle ausgeht oder ihr entströmt, nennt man den Gesamt-Lichtstrom der Lichtquelle. Denkt man sich eine punktförmige Lichtquelle von der Lichtstärke 1, deren Licht gleichmäßig nach allen Richtungen hin ausströmt, so kann man sich den Gesamt-Lichtstrom in 4π gleich großen Teilen zerlegt vorstellen, d. h. 1 Teil auf jede Flächeneinheit einer Sphäre, deren Radius = 1 ist und in deren Zentrum man sich die Lichtquelle denkt. Einen solchen Teil nimmt man als Einheit für Lichtstrom an. Hieraus folgt, daß der numerische Wert des gesamten Lichtstromes einer Lichtquelle von der Lichtstärke 1 gleich $\mathfrak{S} = 4\pi \cong 12{,}56$ sein muß. Ist aber die Stärke der Lichtquelle nicht gleich der Einheit, sondern eine beliebige andere, gleich $\mathfrak{J}$, so wird der gesamte Lichtstrom

$$\mathfrak{S} = 4\pi\mathfrak{J}.$$

Ist nicht von dem Gesamt-Lichtstrom die Rede, sondern von einem Lichtstrom im allgemeinen, der einen räumlichen Winkel σ ausfüllt, so hat man

$$\mathfrak{S} = \sigma\mathfrak{J}.$$

Da $\sigma = \frac{S}{r^2}$ ist, wenn S den Teil der sphärischen Fläche, durch welche der Lichtstrom geht, und r den sphärischen Radius dieser Fläche bezeichnet, so hat man auch

$$\mathfrak{S} = \frac{S}{r^2}\mathfrak{J}.$$

Betrachtet man den Lichtstrom, der einen räumlichen Winkel ausfüllt, so findet man leicht, daß die Stärke (bezw. die Dichte) des Lichtes in einem Punkte oder in einer Flächeneinheit mit dem Abstande des Punktes oder der Flächeneinheit von der Lichtquelle abnehmen muß, weil der Raum und Querschnitt des räumlichen Winkels mit dem Abstande von der Winkelspitze zunimmt. Die Lichtstärke ($\mathfrak{J}$) nimmt auch mit dem Quadrate des Abstandes (r^2) von der Lichtquelle ab, gleichwie die sphärische Fläche (S) mit dem Quadrate des Radius (r^2) zunimmt.

Es ist klar, daß Lichtstrom nichts anderes sein kann, als ein Strom optischer Energie. Die Dimension der Einheit des Lichtstromes wird auch infolge der bei den obigen geometrischen Betrachtungen gemachten Annahmen bezüglich der Einheitsgröße dieselbe sein wie für Lichtstärke; mithin ist

$$\overset{\circ}{\mathfrak{S}} = \sigma\mathfrak{J} = k_m\,(\mathrm{C}^2\,\mathrm{G}\,\mathrm{S}^{-3})\,\mathrm{C}^{-2} = k_m\,(\mathit{erg}\ \text{per}\ \mathit{sec})\ \text{per}\ \mathit{cm}^2.$$

51. Beleuchtungsstärke ($\mathfrak{B}$).

Beleuchtungsstärke oder Lichtdichte nennt man das Verhältnis des Lichtstromes, der senkrecht auf eine Fläche fällt, zu der Größe dieser Fläche. Somit erhält man

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{S}}{S}.$$

Weil $S = \sigma r^2$ und $\mathfrak{S} = \sigma \mathfrak{J}$ ist, ergibt sich auch

$$\mathfrak{B} = \sigma \frac{\mathfrak{J}}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{\mathfrak{S}}{r^2} = \frac{\mathfrak{J}}{r^2}.$$

Bei gleichbleibender Stärke der Lichtquelle ändert sich die Beleuchtungsstärke umgekehrt mit dem Quadrate des Abstandes von der Lichtquelle.

Die Dimension der Einheit der Beleuchtungsstärke ist

$$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\mathfrak{S}}{S} = k_m \left[(C^2 \, G \, S^{-3}) \, C^{-2} \right] C^{-2} = k_m \, (\mathit{erg} \text{ per } \mathit{sec}) \text{ per } \mathit{cm}^2 \text{ per } \mathit{cm}^2.$$

52. Spezifische Lichtmenge ($\mathfrak{M}$).

Spezifische Lichtmenge nennt man das Produkt aus dem Lichtstrome und der Zeit, während welcher der Strom stattfindet. Demnach ist

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{S} \, t = \sigma \mathfrak{J} \, t,$$

und die Einheitsdimension

$$\mathring{\mathfrak{M}} = \mathfrak{S} \cdot t = k_m \, (C^2 \, G \, S^{-2}) \, C^{-2} = k_m \; \mathit{erg} \text{ per } \mathit{cm}^2.$$

53. Belichtung ($\mathfrak{E}$).

Belichtung nennt man das Produkt aus der Beleuchtungsstärke, welcher eine Fläche ausgesetzt wird, und der Zeit, während welcher die Beleuchtung stattfindet, oder auch den Quotienten aus der spezifischen Lichtmenge, welche auf der Fläche zur Wirkung kommt, und der Größe der Fläche. Folglich ist

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{B} \, t = \frac{\mathfrak{S}}{S} t = \sigma \frac{\mathfrak{J}}{S} t = \frac{\mathfrak{M}}{S}.$$

Die Einheitsdimension ist

$$\mathring{\mathfrak{E}} = \frac{\mathfrak{M}}{S} = k_m \left[(C^2 \, G \, S^{-2}) \, C^{-2} \right] C^{-2} = k_m \; \mathit{erg} \text{ per } \mathit{cm}^2 \text{ per } \mathit{cm}^2.$$

Die im obigen angegebenen Dimensionsausdrücke der optischen oder photometrischen Einheiten stimmen mit den sonst üblichen nicht überein. Man hat auch besondere Namen für die verschiedenen Einheiten vorgeschlagen. Hiernach ist:

die Dimension der Lichtstärke $\mathfrak{J} = 1$ Pyr $= 1$ Lichtmaßeinheit,
„ „ des Lichtstromes $\mathfrak{J} = 1$ Lumen,
„ „ der Beleuchtungsstärke $\mathfrak{J}\,\mathbf{C}^{-2} = 1$ Lux,
„ „ „ Lichtmenge $\mathfrak{J}\,\mathbf{S} = 1$ Rad, Lumensekunde,
„ „ „ Belichtung $\mathfrak{J}\,\mathbf{C}^{-2}\,\mathbf{S} = 1$ Phot, Luxsekunde.

E. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten.

54. Elektrostatische Kraft

$\left(\text{Ъ} - \textbf{jerr} - \mathscr{C}\right).$

Elektrostatische Kraft nennen wir diejenige Kraft, womit statische Elektrizitätsmengen einander anziehen oder abstoßen. Die Wirkung dieser Kraft ist mit der Wirkung anderer Kräfte analog, daher ist es angemessen, die elektrostatische Kraft nach derselben Einheit zu messen wie die mechanische Kraft. Im **C. G. S.**-System, welches für die Behandlung der elektrostatischen Größen ganz besonders vorteilhaft ist, benutzt man also das Dyn ($\mathbf{C\,G\,S}^{-2}$).

Nach Coulumb (vgl. Art. 35) kann die Kraft, mit welcher zwei konstantbleibende, von trockener Luft umgebene Elektrizitätsmengen Ж und Ж_1, die sich im Abstande l voneinander befinden, einander anziehen bezw. abstoßen, algebraisch ausgedrückt werden durch die Gleichung (das sogen. *Coulombsche* Gesetz)

$$\text{Ъ} = \pm\,\mathfrak{ff}_a \frac{\text{Ж}\,\text{Ж}_1}{l^2}$$

oder, weil der Koeffizient $\mathfrak{ff}_a$ gleich 1 gesetzt werden kann, wenn die Einheit der statischen Elektrizitätsmenge eine dem entsprechende Definition erhält, im **C. G. S.** - System einfach

$$\text{Ъ} = \pm \frac{\text{Ж}\,\text{Ж}_1}{l^2}\ dyn.$$

Hierbei muß man sich die Elektrizitätsmengen punktförmig vorstellen: man denke sich die Elektrizität auf kleine sphärische Flächen gleichmäßig verteilt. — Wenn die beiden Mengen (Ж und Ж_1) gleiche Vorzeichen haben oder gleichnamig sind (Ъ positiv), findet Abstoßung statt, wogegen, wenn sie ungleiche Vorzeichen haben (Ъ negativ), Anziehung stattfindet.

55. Statische Elektrizitätsmenge

(**Ж** — **sche** — *Ж*).

Falls **Ж** und Ж_1 gleich groß sind, kann man die letzte Gleichung in die folgende Gestalt setzen

$$\mathring{\text{Ъ}} = \pm \frac{\text{Ж}^2}{l^2}\, dyn.$$

Daraus erhält man als algebraische Definition statischer Elektrizitätsmenge die Gleichung

$$\mathring{\text{Ж}} = \sqrt{\text{Ъ}\, l^2} = l\sqrt{\text{Ъ}},$$

woraus sich ergibt die übliche Einheitsdimension

$$\sqrt{\mathbf{C\,G\,S}^{-2}\cdot\mathbf{C}^2} = \mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1},$$

welche wir für das Folgende benutzen wollen, wenngleich der Ausdruck

$$(\mathrm{H\,C})\sqrt{\mathbf{C\,G\,S}^{-2}} = \mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}\,(\mathrm{H\,C})$$

in mancher Hinsicht die Sache besser dartun würde. Die Einheit der statischen Elektrizitätsmenge im **C. G. S.**-System ist diejenige Elektrizitätsmenge, welche eine gleich große Elektrizitätsmenge, die sich im Abstande 1 *cm* befindet, mit einer Kraft von 1 *dyn* anzieht oder abstößt. — Das *Coulombsche* Gesetz bildet, wie aus dem Obigen hervorgeht, eine Art Verbindungsglied zwischen den algebraischen Definitionen der elektrostatischen und der mechanischen Größen.

Eine positive oder negative Elektrizitätsmenge oder Ladung polarisierter Elektrizität auf einem isolierten Körper kann eine elektrische Induktion (oder eine Verteilung, Polarisation, der Elektrizität) auf einem anderen isolierten, nahegelegenen Körper hervorrufen. Eine solche Induktion, Induktion von Elektrizität mittels Elektrizität, könnte mit dem Namen *elektroelektrische Induktion* sinngemäß bezeichnet werden (vgl. Art. 65 und 69).

56. Elektrostatisches Potential

(**Ь** — **jerj** — *Ь*).

Bringt man den algebraischen Ausdruck des *Coulombschen* Gesetzes, $\mathring{\text{Ъ}} = \frac{\text{Ж}\,\text{Ж}_1}{l^2}$, in die Gestalt

$$\frac{\text{Ъ}l}{\text{Ж}_1} = \frac{\text{Ж}}{l},$$

so bedeutet $\frac{\text{Ж}}{l}$ das elektrostatische Potential in einem Punkte oder in einer Niveaufläche im Abstande l vom Zentrum der das Potential hervorbringenden Elektrizitätsmenge **Ж** und stellt eine Arbeits- bezw. Energie-Menge vor in Bezug auf eine der Einheit gleiche Elektrizitätsmenge, wenn diese sich in jenem Punkte oder in jener Niveaufläche befindet. Bezeichnet man das Potential mit **ь**, ergibt sich

$$\mathring{\text{ь}} = \frac{\text{Ж}}{l}$$

als Gleichung des elektrostatischen Potentials (vgl. Art. 37 — mechanisches Potential). In den obigen Gleichungen bezeichnet **Ж** eine verhältnismäßig große, zentral gelegene, punktförmig gedachte und einen bestimmten Bereich beherrschende Menge statischer Elektrizität und bezeichnet Ж_1 eine sehr kleine, von der größeren Menge dominierte bewegliche Menge, deren jeweilige Entfernung von **Ж** gleich l ist. Die Zentralmenge **Ж** wirkt anziehend auf die Menge Ж_1, falls die beiden Mengen ungleichnamig sind (die eine positiv und die andere negativ), aber abstoßend, falls die beiden Mengen gleichnamig sind (beide positiv oder beide negativ). **Ж** stellt ein elektrisches Kraft- oder Energie-Zentrum dar, und man kann sagen, daß die anziehende bezw. abstoßende Energie gleichsam vom Zentrum radial nach jeder Richtung hin ausstrahlt und dadurch eine Energiesphäre, die *Elektrosphäre* (von ἤλεκτρον und σφαῖρα), bildet, worin sich Ж_1 oder eine der Einheit gleiche Elektrizitätsmenge im Abstande l vom Zentrum befindet. — Selbstverständlich hat auch die kleinere Menge ihre Elektrosphäre, und die Anziehungs- und Abstoßungs-Erscheinungen entstehen natürlich auf Grund gegenseitiger Wirkungen der beiden Elektrosphären, sobald diese in Berührung miteinander kommen.

Das elektrostatische Potential (vgl. mech. Potential) gibt an: **a.** diejenige mechanische Arbeit, die für jede in Ж_1 enthaltene Mengeneinheit erforderlich ist, um die Menge Ж_1, falls diese mit der Zentralmenge **Ж** gleichnamig ist, von der äußersten Niveaufläche, der sphärischen Fläche, in welcher **Ж** gerade den Einfluß auf Ж_1 verliert, (also aus der sogen. Null-Lage) bis an die Niveaufläche, die sich im Abstande l vom Kraftzentrum befindet, zu führen; **b.** diejenige mechanische Arbeit, die, falls die beiden Elektrizitätsmengen ungleichnamig sind, per Mengeneinheit verrichtet werden muß, um Ж_1 von einer Niveaufläche im Abstande l vom Kraftzentrum bis an die Null-Lage zu führen; c. diejenige potentielle Energie, die jede in der Elektrizitätsmenge Ж_1 enthaltene Mengeneinheit besitzt, falls die beiden Elektrizitätsmengen gleichnamig sind und die kleine Menge Ж_1 durch eine äußere Kraft in irgend einem Punkte einer Niveaufläche festgehalten wird, die sich im Abstande l vom Kraftzentrum befindet; und d. diejenige kinetische Energie, die, falls die beiden Elektrizitätsmengen ungleichnamig sind, jede in der Menge Ж_1 enthaltene Mengeneinheit sich erworben haben würde gerade in dem Augenblicke, wo Ж_1, sich von der Null-Lage ab frei bewegend, die Niveaufläche durchschreitet, welche sich im Abstande l vom Kraftzentrum befindet.

Wenn eine der Einheit gleiche Menge mechanischer Arbeit nötig ist, um eine der Einheit gleiche Elektrizitätsmenge von der äußersten Niveaufläche (aus der Null-Lage) bis an eine andere, dem Kraftzentrum näher gelegene Niveaufläche zu bringen, so hat jeder Punkt in der erwähnten, inneren Niveaufläche ein der Einheit gleiches Potential. Aus der Bestimmungsgleichung des elektrostatischen Potentials ersieht man, daß der Wert von Ж in diesem Falle dem Werte von l numerisch gleich sein muß, d. h. $\frac{\text{Ж}}{l} = \text{ь} = 1$.

Die Dimension der Einheit des elektrostatischen Potentials ist

$$\mathring{\text{ь}} = \frac{\text{Ж}}{l} = \frac{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}{C} = C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1} = \frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}$$

gleich 1 *ėrg* per C. G. S.-Einheit der statischen Elektrizitätsmenge.

57. Elektrostatische Potentialdifferenz

$$\left(\text{Ь}_d - \textbf{jerj} - \text{б}_d\right).$$

Elektrostatische Potentialdifferenz ist der Unterschied der Potentiale zweier Punkte, welche in zwei verschiedenen Niveauflächen der Elektrosphäre einer zentralen Elektrizitätsmenge Ж liegen. Sind die Abstände der betrachteten Punkte vom Zentrum der Zentralmenge l_{I} und l_{II}, erhält man

$$\mathring{\mathbf{b}}_d = \mathbf{b}_{\mathrm{I}} - \mathbf{b}_{\mathrm{II}} = \frac{\text{Ж}}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{\text{Ж}}{l_{\mathrm{II}}} = \text{Ж}\left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{II}}}\right),$$

wenn l_{II} für den entfernter gelegenen Punkt gilt. Läßt man l_{II} den Abstand vom Kraftzentrum bis an die äußerste Niveaufläche, die Begrenzungsfläche der Elektrosphäre, bezeichnen, so wird $l_{\mathrm{II}} = \infty$ und $\frac{1}{l_{\mathrm{II}}}$ kann vernachlässigt werden. Dann geht die Gleichung in die Form über:

$$\mathring{\mathbf{b}}_d = \frac{\text{Ж}}{l_{\mathrm{I}}} \text{ oder allgemein } = \frac{\text{Ж}}{l}.$$

Die Dimension der Einheit der elektrostatischen Potentialdifferenz ist selbstverständlich gleich derjenigen des Potentials,

$$\text{also } \frac{\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2}}{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}.$$

Die Potentialdifferenz zwischen zwei Niveauflächen ist gleich der Einheit, wenn eine Arbeit 1 verrichtet werden muß, um die Elektrizitätsmenge 1 von irgend einem Punkte in der einen Niveaufläche zu irgend einem Punkte in der anderen Niveaufläche zu führen.

58. Elektrostatische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität

$$\left(\text{Я} - \text{ja} - \mathscr{X}\right).$$

Elektrostatische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität oder auch Fassungsvermögen eines Körpers nennt man das Verhältnis der Ladung oder Elektrizitätsmenge des Körpers zum Potential desselben; daher

$$\mathring{\text{Я}} = \frac{\text{Ж}}{\mathbf{b}}.$$

Die Fähigkeit eines Körpers, Elektrizität aufzunehmen oder zu halten, ist nicht nur abhängig von der Größe und der Gestalt des Körpers, sondern auch, und zwar in hohem Maße, von den dielektrischen Eigenschaften des umgebenden oder zwischenliegenden (z. B. zwischen den Platten eines Kondensators liegenden) Mediums, des *Dielektrikums*. Bezeichnet man den relativen dielektrischen Wert, den *Dielektrizitätskoeffizienten*, des Körpers mit $\mathbf{ff}_{\mathfrak{b}}$, kann die obige

Gleichung, die bloß unter der Voraussetzung gilt, daß trockene Luft als Dielektrikum benutzt wird, verallgemeinert werden, wenn man darin den soeben angeführten Koeffizienten einsetzt; es ist also

$$\mathring{\mathfrak{A}} = \mathfrak{ff}_b \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{b}} .$$

Der Dielektrizitätskoeffizient der in Frage kommenden Körper kann ermittelt werden, wenn man diese nacheinander zwischen den Platten in denselben Kondensator einsetzt und deren relativen dielektrischen Wert bestimmt, indem man den Wert für trockene Luft bei einer Temperatur von 0^0 C und einem Luftdruck von 76 *cm* gleich 1 setzt und dann die anderen Körper mit der Luft vergleicht. .

Infolge der Schwierigkeit, das Potential bei Körpern komplizierterer Gestalt zu berechnen, läßt sich die Aufnahmefähigkeit bei solchen Körpern auch nicht leicht rechnerisch bestimmen. Bei einfacheren Körpern kann das Potential und die Aufnahmefähigkeit berechnet werden, und in den Lehr- und Handbüchern findet man auch Angaben bezüglich der Aufnahmefähigkeit der meisten einfacheren Körper.

Die Einheitsdimension des Dielektrizitätskoeffizienten $\mathfrak{ff}_b$ ist offenbar **I**, und die der elektrostatischen Aufnahmefähigkeit ist

$$\mathring{\mathfrak{A}} = \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{b}} = \frac{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}} = \frac{\mathbf{C}^{1/2}\mathbf{G}^{1/2}\mathbf{S}^{-1}\,(\mathrm{HC})}{\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}} = \frac{(\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})^2}{\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2}},$$

je nachdem man die Sache auffassen will. Der Dimensionsausdruck läßt sich aber, wie man leicht sieht, auf die Form $\mathbf{C} = \mathbf{1}\,cm$ bringen, und die Möglichkeit, daß die Einheit der Aufnahmefähigkeit (Kapazität) die Dimension einer bloßen Länge haben kann, werden die zwei folgenden Beispiele zeigen:

Bei einer Kugel vom Halbmesser r, auf deren Oberfläche sich die gleichmäßig verteilte Elektrizitätsmenge $\mathfrak{M}$ befindet, ist das Potential im Zentrum

$$\overset{e}{\mathfrak{b}} = \frac{\mathfrak{M}}{r}, \text{ woraus } \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{b}} = r,$$

und folglich wird die Aufnahmefähigkeit der Kugel

$$\mathring{\mathfrak{A}} = \mathfrak{ff}_b \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{b}} = \mathfrak{ff}_b\, r$$

sein, d. h. in trockener Luft ($\text{ff}_{\text{b}} = 1$) hat eine Kugel vom Halbmesser 1 die Aufnahmefähigkeit 1. Bei gleichbleibendem Dielektrikum ist also die Aufnahmefähigkeit einer Kugel dem Halbmesser (d. i. einer Länge) numerisch gleich.

In einem Kondensator mit zwei im Abstande l einander gegenüberstehenden, ebenen Platten von der Größe S ist das Potential an jeder Platte

$$\overset{\circ}{\text{Ь}} = 4\pi \frac{\text{Ж}}{S} l, \text{ woraus } \frac{\text{Ж}}{\text{Ь}} = \frac{1}{4\pi} \frac{S}{l},$$

und somit die Aufnahmefähigkeit einer der beiden Platten

$$\overset{\circ}{\text{Я}} = \text{ff}_{\text{b}} \frac{\text{Ж}}{\text{Ь}} = \text{ff}_{\text{b}} \frac{1}{4\pi} \frac{S}{l},$$

d. h. eine Kondensatorplatte von der Größe $S = 4\pi$ würde die Aufnahmefähigkeit 1 haben, wenn die gegenüberstehende Platte sich in der Entfernung 1 befände und der Dielektrizitätskoeffizient gleich 1 wäre. Die Möglichkeit einer Länge als Dimension der Einheit der elektrostatischen Aufnahmefähigkeit eines Körpers geht also auch aus der letzten Gleichung hervor.

Zu den elektrostatischen Größen zählt man meistens auch Stromstärke und Leitungswiderstand, welche indessen hier nicht aufgenommen werden, da ein Strom kein statischer Zustand ist, und da man nicht von einem Leitungswiderstande sprechen kann, wenn man keinen Strom hat.

F. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

59. Magnetische Kraft

(Б — **be** — *Б*).

Magnetische Kraft nennen wir diejenige Kraft, welche sich äußert, wenn Magnetpole einander anziehen oder abstoßen, oder bei hiermit physikalisch ähnlichen magnetischen Erscheinungen. Es versteht sich von selbst, daß die magnetische Kraft nach derselben Einheit gemessen werden sollte wie die mechanische Kraft. In dem Falle wird im **C. G. S.**-System die Dimension der magnetischen Kraft auch $\mathbf{C\,G\,S^{-2}} = 1\,dyn$.

60. Magnetische Polstärke

($\mathbf{III}$ — **scha** — $\mathscr{Ul}$).

Die Bezeichnung *Pol* für diejenigen Stellen eines Magnets, wo die magnetische Kraft konzentriert zu sein scheint, wurde von William Gilbert um das Jahr 1600 eingeführt, der auch den Namen *Äquator* für die Mitte oder die neutrale Stelle des Magnets und den Namen *Achse* für die Verbindungslinie zwischen den beiden Polen eines geraden Magnets vorschlug.

Als Verbindungsglied zwischen den algebraischen Definitionen der magnetischen und mechanischen Größen dient der algebraische Ausdruck des *Coulombschen* Gesetzes. Man denke sich zwei verhältnismäßig lange, frei bewegliche Magnete einander so gegenüber gestellt, daß die Magnete mit nur je einem Pole aufeinander wirken können, und man denke sich ferner den Magnetismus punktförmig an den Polen konzentriert; es sei $\boldsymbol{l}$ der Abstand der zwei in Betracht kommenden Pole, $\mathbf{III}$ und $\mathbf{III}_1$ die Polstärken. Dann hat man

$$\mathbf{B} = \pm k_a \frac{\mathbf{III}\,\mathbf{III}_1}{\boldsymbol{l}^2}$$

oder, weil der Koeffizient k_a gleich 1 gesetzt werden kann, wenn die Magnete von Luft umgeben sind und die Einheit der Polstärke entsprechend definiert wird, im **C. G. S.**-System einfach

$$\mathring{\mathbf{B}} = \pm \frac{\mathbf{III}\,\mathbf{III}_1}{\boldsymbol{l}^2}\ dyn.$$

Als **C. G. S.**-Einheit der magnetischen Polstärke nimmt man einen Magnetpol an, der auf einem gleich großen Magnetpol im Abstande 1 *cm* die Kraft 1 *dyn,* anziehend oder abstoßend, ausübt. Einen Magnetpol der Stärke Eins nennt man einen *Einheitspol.* Um einen algebraischen Ausdruck für die Einheit der magnetischen Polstärke oder für den Einheitspol zu erhalten, setzt man $\mathbf{III} = \mathbf{III}_1$ und erhält

$$\mathring{\mathbf{B}} = \pm \frac{\mathbf{III}^2}{\boldsymbol{l}^2}\ dyn.$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich dann

$$\mathring{\mathbf{III}} = \sqrt{\mathbf{B}\,\boldsymbol{l}^2} = \boldsymbol{l}\,\sqrt{\mathbf{B}}$$

als Bestimmungsgleichung der Polstärke und sonach die Einheitsdimension

$$\sqrt{\mathrm{C\,G\,S^{-2} \cdot C^2}} = \mathrm{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = 1\ \mathrm{C.\,G.\,S.}\text{-Einheitspol.}$$

Ist die Stärke des einen Poles bekannt ($\mathfrak{M}_1$), und werden $\mathfrak{B}$ und l durch Messung ermittelt, so kann die Stärke des anderen Poles ($\mathfrak{M}$) berechnet werden; es ist

$$\mathring{\mathfrak{M}} = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{M}_1}\, l^2 \text{ Einheitspole (C.G.S.-)}.$$

61. Magnetisches Potential

(Л — ell — $\mathscr{L}$).

Das in Artikel 56 bezüglich des elektrostatischen Potentials Gesagte findet auch auf das magnetische Potential seine Anwendung; wir verweisen darum auf jenen Artikel. Mit den für die magnetischen Größen gewählten Bezeichnungen lautet die Potentialgleichung

$$\frac{\mathfrak{B}\, l}{\mathfrak{M}_1} = \mathring{\mathfrak{J}} = \frac{\mathfrak{M}}{l},$$

worin $\mathfrak{M}$ die Polstärke eines mathematischen (punktförmigen) Magnetpoles, eines Magnetpoles ohne Ausdehnung, bezeichnet, der einen sphärischen magnetischen Bereich, eine *Magnetosphäre* (von Μαγνήτης und σφαῖρα) hervorruft, in welcher sich ein verhältnismäßig schwächerer, ebenfalls mathematischer Pol, z. B. ein Einheitspol, in einem jeweiligen Abstande l von dem magnetischen Kraftzentrum befindet.

Die Dimension der Einheit des magnetischen Potentials ist

$$\mathring{\mathfrak{J}} = \frac{\mathfrak{M}}{l} = \frac{\mathrm{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}}{\mathrm{C}} = \mathrm{C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = \frac{\mathrm{C^2\,G\,S^{-2}}}{\mathrm{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}}$$

gleich 1 *erg* per C. G. S.-Einheitspol.

62. Magnetische Potentialdifferenz

(Л$_d$ — ell — $\mathscr{L}_d$).

Was in Artikel 57 in Bezug auf elektrostatische Potentialdifferenz gesagt wurde, gilt auch hier. Es ergibt sich somit

$$\mathring{\text{Л}}_d = \text{Л}_{\mathrm{I}} - \text{Л}_{\mathrm{II}} = \frac{\text{Ш}}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{\text{Ш}}{l_{\mathrm{II}}} = \text{Ш}\left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{II}}}\right).$$

Läßt man l_{II} den Abstand vom Zentrum bis an die Null-Lage bezeichnen, wird $\frac{1}{l_{\mathrm{II}}}$ im Vergleich zu $\frac{1}{l_{\mathrm{I}}}$ verschwindend klein und kann vernachlässigt werden, und man erhält als Bestimmungsgleichung der Potentialdifferenz

$$\mathring{\text{Л}}_d = \frac{\text{Ш}}{l}$$

und als Dimension der Einheit

$$\frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = 1\,\textit{erg}\ \text{per C. G. S.-Einheitspol.}$$

63. Magnetisches Moment

(Ч — **tsche** — *Ч*).

Moment eines Magnets, dessen Pole eine Stärke von $+$ Ш und $-$ Ш haben und dessen Länge l ist, nennt man das Produkt aus Polstärke und Länge. Sind die beiden Pole gleich stark, wie meistens der Fall ist, und ist der Magnet von gleichförmigem Querschnitt, so hat man

$$\text{Ч} = \text{Ш}\,l\,.$$

Der Begriff von magnetischem Moment kann aufgefaßt werden als ein Ausdruck oder ein Maß für die quantitativ magnetischen Eigenschaften eines Magnets, aber er wird meistens aufgefaßt als eine Art magnetisches Drehmoment $\left(2 \times \text{Ш}\,\frac{l}{2} = \text{Ш}\,l\right)$ eines beliebig geformten Magnets in einem magnetischen Felde. Im letzten Falle bezeichnet l den Abstand der zwei Pole des Magnets.

Die Einheit des magnetischen Moments im **C. G. S.**-System hat ein Magnet, dessen Länge 1 *cm* ist und dessen beide Pole **C. G. S.**-Einheitspole sind. Daher die Dimension dieser Einheit

$$\mathring{\text{Ч}} = \text{Ш}\cdot l = C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}\,(H\,C) = 1\ \text{C. G. S.-Einheitspol}\ H\ \textit{cm}\,.$$

Der übliche Dimensionsausdruck ist bekanntlich $C^{5/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$.

64. Spezifisches magnetisches Moment

(Ц — tse — $\mathscr{U}$).

Spezifisches magnetisches Moment oder magnetische Intensität ist der Quotient aus dem Moment eines Magnets und dem Volumen desselben; daher ist

$$\text{Ц} = \frac{\text{Ч}}{V} = \frac{\text{Ш}}{S}\,.$$

Die Einheitsdimension ist

$$\mathring{\text{Ц}} = \frac{\text{Ч}}{V} = \frac{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}\,(\mathsf{H}\,\mathsf{C})}{\mathbf{C}^{3}} = (\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})\,\mathbf{C}^{-2}$$

$$= (\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})\,\mathbf{C}^{-1} = \mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1},$$

je nachdem man die Sache auffassen will.

65. Magnetisches Feld. Magnetischer Kreis. Magnetischer Querschnitt.

Unter dem Ausdrucke *magnetisches Feld* versteht man die Umgebung eines Magnets (bezw. die Umgebung eines Elektrizität führenden Leiters — vgl. Art. 69), innerhalb welcher sich Magnetismus oder *magnetische Energie* befindet, oder, wie man gewöhnlich sagt, innerhalb welcher sich magnetische Kraftlinien zeigen. Im allgemeinen spricht man von einem magnetischen Felde nur dann, wenn vom Magnetismus in der Luft, die den Magnet umgibt, die Rede ist, aber die magnetische Energie einer Magnetismusquelle (eines Magnetpoles, eines Elektrizität führenden Leiters u. s. w.) breitet sich nicht nur in der Luft aus, sondern, wenn auch mehr oder weniger, in allen Stoffen, welche in den Wirkungskreis der Magnetismusquelle kommen. Deshalb würde man auch von einem *aëro-, hydro-, metallo-* (nach dem griech. ἀέρος, ὕδωρ und μέταλλον) u. s. w. magnetischen Felde sprechen können, je nachdem sich das berücksichtigte magnetische Feld in der Luft (bezw. in Gasen oder Dämpfen), in einer Flüssigkeit, in einem Metalle u. s. w. befindet. — Der Ausdruck magnetisches Feld (= magnetisches Energie- bezw. Kraftfeld oder Magnetismusfeld) bezieht sich also nicht etwa speziell auf eine Fläche, sondern im allgemeinen auf einen Raum.

Wie oben angedeutet, wird ein magnetisches Feld durch das Vorhandensein sogen. magnetischer Kraftlinien gekennzeichnet. Hinsichtlich der Angemessenheit des Ausdruckes *magnetische Kraftlinien* (in gewissen Fällen auch *Induktionskurven* genannt) gehen die Meinungen auseinander. Unserer Meinung nach ist der fragliche Ausdruck weniger gut, weil er zu leicht eine irrige Auffassung hinsichtlich der Art und Weise, in welcher der Magnetismus auftritt und sich verbreitet, herbeiführt. Es wird mitunter behauptet, daß der Begriff der Kraftlinie bei der Erklärung und Beschreibung der magnetischen Erscheinungen fast unentbehrlich sei; derartige Behauptungen sind jedoch keineswegs stichhaltig. Glaubt man aber, den Ausdruck nicht entbehren zu können, so sollte man ihm wenigstens keine andere Bedeutung beimessen, als Wärme- und Lichtstrahlen in Bezug auf Wärme und Licht haben, denn der Magnetismus breitet sich (strahlt) von einer Magnetismusquelle ungefähr in derselben Weise aus, wie Wärme und Licht sich von Wärme- und Lichtquellen ausbreiten (ausstrahlen), wenn auch die Bedingungen der Fortpflanzung verschieden sind. Auf jeden Fall sollte man sich vor der Auffassung hüten, daß dasjenige, was eine magnetische Kraftlinie (oder eventuell Magnetismusstrahl) genannt wird, irgend ein physikalisches Dasein in Form einer Linie (oder eventuell eines Strahles) hat. Daß Eisenfeilspähne auf einem über einen Magnet gelegten Blatt steifen Papiers oder auf einer Glasscheibe sich in Linienform oder in Form von magnetischen metallischen Fäden ordnen, beweist keineswegs das Vorhandensein von irgend einem Etwas, dem man mit Recht den Namen *magnetische Kraftlinien* geben könnte. Die erwähnten, von Eisenfeilspähnen gebildeten Metallfäden könnten schon durch den fraglichen Namen bezeichnet werden, obschon sie vorteilhafter magnetische Eisenfeilspahnfäden oder kurzweg *magnetische Fäden* benannt werden könnten. Diese Fäden bilden nämlich materielle Bahnen oder Wege, welche den Magnetismus sammeln und leiten. Deren Form und Richtung wird durch die jeweilig wirkenden magnetischen Kräfte und die Lage des Papiers oder Glases, worauf die Feilspähne gestreut werden, bezüglich der Magnetpole bestimmt. Die auf dem Papiere oder Glase über einem Magnetpole befindlichen Eisenfeilspähne werden durch magnetische oder, vielleicht besser ausgedrückt, *magnetomagnetische* (vgl. Art. 55 und 69) Induktion magnetisch, bilden kleine Magnete, und ziehen einander an und stoßen einander ab in einer gewissen Ordnung, wodurch sich dann die erwähnten Metallfäden bilden, gleichsam vom Pole des Magnets ausgehend. Da die Fäden oder vielmehr die Enden der Fäden, die von einem und demselben Pole ausgehen, gleicher Polarität sind, stoßen sie einander ab und nehmen die Richtung und Form an, welche einwirkende Kräfte und Widerstände bestimmen. Besteht ein zweiter Pol, ein Pol entgegengesetzter Polarität, unter dem Papiere, worauf die Feilspähne gestreut werden, so bilden sich auch über ihm ähnliche magnetische Fäden, die unter sich von gleicher, aber hinsichtlich der Fäden vom anderen Pole von entgegengesetzter Polarität sind. Daher ziehen die Fäden von dem einen Pole die Fäden von dem anderen Pole an und, weil die Fäden auf Grund ihres Baues sehr biegsam und beweglich sind, vereinigt sich ein großer Teil davon und stellt eine Art metallisch magnetischer Verbindung zwischen den Polen her, wodurch ein mehr oder weniger metallisch geschlossener sogen. *magnetischer Kreis* entsteht. Wie viele Fäden sich vollständig vereinigen können, und welche Richtung und Form sie nehmen, beruht offenbar auf dem Verhältnis der gegenseitigen Anziehung und Abstoßung der Fäden, wie auch auf vorhandenen magnetischen und mechanischen Widerständen. Da Eisen eine weit größere magnetische Aufnahmefähigkeit als Luft hat, so ist es einleuchtend, daß die *magnetische Dichte* in den Feilspähnen eine viel größere werden muß als die in der umgebenden Luft. Ist der Stoff, der die magnetischen Feilspahnfäden umgibt, nicht Luft, sondern ein anderer Stoff, dessen magnetische Aufnahmefähigkeit eine größere oder geringere als die der Luft ist, so verändert dies selbstverständlich die Dichte in den Feilspahnfäden. Falls keine Feilspahnfäden o. dgl. vorhanden sind, sondern der Magnet von einem einzigen, vollkommen homogenen Stoff umgeben ist, gibt es keine genügende Veranlassung anzunehmen, daß sich der Magnetismus, die magnetische Energie, in irgend einer Linienform fortpflanzt und ordnet.

Die magnetischen Eisenfeilspahnfäden haben doch ihren großen Wert, indem damit ein sehr anschauliches Bild, eine Art magnetischer Figur, erzeugt werden kann, wodurch sich ein magnetisches Feld hinsichtlich der Form, der Richtung, der Dichte u. s. w. annähernd beurteilen läßt. — Man nimmt (konventionell, aber sonst ganz willkürlich) an, daß der Magnetismus bei dem positiven (Nord-) Pole des Magnets ausgeht oder ausströmt und bei dem negativen (Süd-) Pole wieder in den Magnet eintritt oder einströmt.

Es sei auch hier erwähnt, daß der Ausdruck *magnetische Kraftlinie* außerdem mit einer anderen, zwar den obigen verwandten Bedeutung vorkommt, nämlich als Name für die Maßeinheit der magnetischen Feldstärke. Auch in diesem Falle ist der fragliche Ausdruck nicht mehr nötig, denn auf dem elektrischen Kongresse in Paris im Jahre 1900 wurden für die philosophischen Maßeinheiten, die auf magnetische Feldstärke Bezug haben, die Namen *gauss* und *maxwell* adoptiert.

Unter dem Ausdruck *magnetischer Kreis* verstehen wir teils einen imponderablen *Magnetismuskreis* (eine zwar nicht unmittelbar sichtbare Magnetismusfigur) mit kontinuierlicher Polarität, d. i. eine bestimmte Menge zusammengehörigen Magnetismus, der in irgend einer kreis- oder ringförmigen, wenn auch für das Auge nicht unmittelbar wahrnehmbaren Gestalt besteht, teils auch den ponderablen *Magnetismusträger* oder materiellen magnetischen Aufbau selbst, also den Körper oder die Kombination von Körpern (Eisen, Luft u. s. w.), worin sich die erwähnte Magnetismusmenge befindet, und wodurch also der Magnetismuskreis räumlich bestimmt wird. Vgl. Art. 91.

Einen Schnitt quer durch einen magnetischen Kreis nennen wir einen *magnetischen Querschnitt.* Geht ein solcher Querschnitt durch einen Teil des magnetischen Kreises, der aus Luft besteht, also durch den Luftraum (*l'entrefer*) eines Magnets, so wird er als *aëromagnetisch* bezeichnet, wogegen als *metallomagnetisch*, wenn er durch den metallischen Teil des magnetischen Kreises geht. Ferner nennen wir einen magnetischen Schnitt *äquipolar*, wenn dieser, von einer Seite aus gesehen, überall von gleicher Polarität ist, und *inäquipolar*, wenn derselbe nicht überall gleiche Polarität hat.

66. Magnetische Feldstärke.

Untersucht man mittels eines magnetischen Prüfungs- oder Versuchspoles das magnetische Feld eines Magnetpoles oder eines Elektrizität führenden Leiters (vgl. Art. 69) in Punkten auf verschiedenen Stellen oder Entfernungen vom Pole oder vom Leiter, so findet man, daß die Stärke des Feldes nicht überall gleich, sondern in nächster Nähe des Poles, der Magnetismusquelle, am größten ist. Die Stärke des Feldes in einem beliebigen Punkte (*punktuelle* magnetische Feldstärke oder *Punktfeldstärke*) kann durch die Kraft, mit welcher ein Versuchspol, z. B. ein Einheitspol, in dem betreffenden Punkte angezogen oder abgestoßen wird, numerisch ermittelt werden.

Wenn $\mathfrak{M}$ (Fig. 2) einen mathematischen oder punktförmigen Magnetpol bezeichnet, der von einem vollkommen homogenen Stoff, z. B. reiner Luft, umgeben ist, und auf den keine äußeren magnetischen Kräfte einwirken, so breitet sich der Magnetismus radial und gleichmäßig nach allen Richtungen hin aus und bildet eine *Magnetosphäre* (vgl. Art. 61), in welcher der Magnetismus dünner und dünner wird, je weiter man sich vom Pole entfernt, d. h. die punktuelle Stärke des magnetischen Feldes und natürlich auch die magnetische Dichte (Magnetismus pro Flächeneinheit) werden kleiner und kleiner, je weiter man sich vom Pole entfernt. Mithin ist die punktuelle Stärke des Feldes geringer in der Niveaufläche *b*—*b* als in der Niveaufläche *a*—*a* u. s. w.

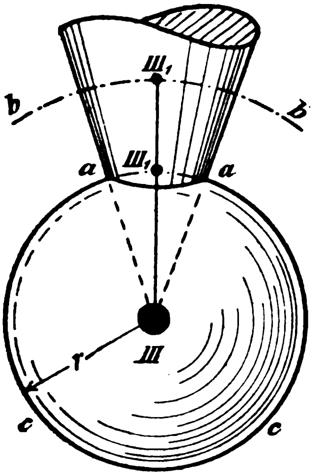

Fig. 2.

Die punktuelle Feldstärke in einer Niveaufläche, die sich im Abstande 1 *cm* von einem punktförmigen Magnetpole der Stärke Eins (1 **C. G. S.**-Einheitspol) befindet, repräsentiert die **C. G. S.**-Einheit der Feldstärke. Diese Einheit heißt *gauss*, nach Karl Friedrich Gauss. Überall in der erwähnten Niveaufläche wird ein **C. G. S.**-Einheitspol mit einer Kraft von 1 *dyn* angezogen oder abgestoßen, und es leuchtet ein, daß die punktuelle Feldstärke in einem beliebigen magnetischen Felde an jeder Stelle, wo das Feld die Kraft Eins. auf einen Einheitspol ausübt, gleich der Einheit (1 *gauss*) sein muß. In allen Punkten einer Niveaufläche, einer Fläche gleichen Potentials, herrscht selbstverständlich dieselbe punktuelle Feldstärke und auch dieselbe magnetische Dichte, und man nimmt an, daß die magnetische Dichte der Einheit gleich ist, wenn in einer solchen Fläche die punktuelle Feldstärke der Einheit gleich ist. Die Einheit *gauss* kann darum auch in Bezug auf *superficielle* Feldstärke benutzt werden und zwar als Einheit der magnetischen Dichte. Ist die Größe der in Betracht kommenden Fläche S, die punktuelle Feldstärke bezw. die magnetische Dichte $\boldsymbol{\theta}$ — fitá —, so wird die gesamte superficielle magnetische Feldstärke oder *Flächenfeldstärke* $\boldsymbol{\Phi}$ — eff — (vgl. Art. 67).

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \boldsymbol{\theta}\, S \ \textit{maxwell}.$$

Die Einheit der superficiellen Feldstärke heißt *maxwell,* nach James Clerk Maxwell. Was wir hier die superficielle Feldstärke, Flächenfeldstärke, nennen, wird bisweilen die *gesamte Feldstärke* (auch Gesamtzahl der Kraftlinien) genannt.

Stellt **III** (Fig. 2) einen punktförmigen **C. G. S.**-Einheitspol und *a—c—c—a* eine sphärische Fläche (eigentlich einen sphärischen magnetischen Querschnitt) im Abstande $r = 1$ *cm* vom Pole vor, so herrscht überall, d. h. in jedem Punkte und in jeder Flächeneinheit, auf dieser äquipotentialen und äquipolaren Fläche eine magnetische Feldstärke $= 1$ *gauss* und, weil die ganze sphärische Fläche $= 4\pi r^2$ oder, da $r = 1$ angenommen wurde, numerisch $= 4\pi$ cm^2 ist, so wird die gesamte Feldstärke folglich

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \boldsymbol{\theta}\, S = 1 \times 4\pi = 4\pi \ \textit{maxwell}.$$

Ist der im Abstande 1 *cm* vom Zentrum gelegene Flächenteil *a—a* der sphärischen Fläche *a—c—c—a* gleich 1 cm^2, so bildet dieser Flächenteil einen Querschnitt durch einen Kegel, der seine Spitze im Zentrum hat; und ist die Feldstärke in diesem Querschnitte gleich 1 *gauss*, sieht man, daß die Feldstärke in einem Querschnitte, welcher näher dem Zentrum liegt, > 1 und in einem, welcher entfernter vom Zentrum liegt, z. B. in *b—b*, < 1 *gauss* sein wird. In einem solchen Kegel, Magnetismuskegel oder Magnetismusröhre (meistens Kraftröhre, Flußröhre oder Kraftlinienbündel, auch, wenn einer gewählten Einheit gleich, Einheitsröhre oder Einheitslinie genannt), ändert sich die punktuelle Feldstärke bezw. die magnetische

Dichte in umgekehrtem Verhältnis zu der Größe des Querschnitts, woraus folgt, daß das Produkt aus Feldstärke und Querschnittsfläche ($\boldsymbol{\theta} \times S$) für alle äquipotentiale Querschnitte durch den Kegel gleich werden muß, d. h. die superficielle Feldstärke in jedem solchen Querschnitte ist stets gleich 1 *maxwell*, wenn die punktuelle Feldstärke im Querschnitte *a*—*a* gleich 1 *gauss* ist. Dasselbe gilt für vollständige sphärische Querschnitte, so daß die superficielle Feldstärke, falls die punktuelle Feldstärke in der Fläche *a*—*c*—*c*—*a* allenthalben gleich 1 *gauss* ist, in jedem ganzen sphärischen Querschnitte, einerlei auf welche Entfernung dieser sich vom Zentrum befindet, stets $\boldsymbol{\Phi} = 4\pi$ *maxwell* sein wird.

Ist aber der zentrale Magnetpol kein Einheitspol, sondern ein beliebiger anderer, z. B. von der Stärke $\mathfrak{m}$, so wird die Feldstärke in der Magnetosphäre auch eine andere sein, und das Feld übt auf einen Versuchspol, der die Stärke Eins hat und sich in einem Punkte im Abstande Eins vom Zentrum befindet, nicht mehr die Kraft Eins aus, sondern eine andere Kraft, die numerisch gleich $\mathfrak{m}$ *dyn* ist. Folglich wird die punktuelle Feldstärke im Abstande $r = 1$ *cm* nicht mehr 1 *gauss*, sondern $\mathfrak{m}$ *gauss* sein, und die gesamte superficielle sphärische Feldstärke

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi\,\mathfrak{m} \textit{ maxwell}.$$

Ist ferner die Stärke des Versuchspoles auch eine beliebige ($\mathfrak{m}_1$), und geschieht außerdem die Messung in einem beliebigen Abstande (l) von dem Zentralpole, so erhält man auch, weil die Polstärke (vgl. Art. 60)

$$\mathring{\mathfrak{m}} = \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} l^2 \textit{ Einheitspole } (\mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-})$$

ist, für die ganze sphärische Fläche, deren Halbmesser $r = l$ *cm* ist,

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} l^2 \textit{ maxwell}.$$

Da die Oberfläche der Sphäre $S = 4\pi r^2$ *cm*^{2} ist, so ergibt sich für die punktuelle Feldstärke bezw. für die magnetische Dichte

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{4\pi l^2}{4\pi r^2} \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} = \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} \textit{ dyn} \text{ per } \mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-Einheitspol},$$

auch *maxwell* per *cm*^{2} (= *gauss*).

Mißt man also den Wert von $\boldsymbol{\theta}$ in irgend einer Niveaufläche, die sich im Abstande r vom Zentrum der die Magnetosphäre erzeugenden Magnetismusquelle befindet, so hat man für einen Teil S dieser Fläche

$$\mathring{\Phi} = \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} S = \boldsymbol{\theta} S \; \textit{maxwell}.$$

Aus der einfachen Bestimmungsgleichung der punktuellen Feldstärke

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} \; \textit{gauss}$$

ersieht man, daß die Feldstärke $\boldsymbol{\theta}$ der magnetischen Kraft $\mathbf{B}$ *numerisch gleich* wird, wenn man einen Versuchspol der Stärke 1, also einen Einheitspol, bei der Messung benutzt. Hieraus ziehe man jedoch nicht den Schluß, daß magnetische Feldstärke und magnetische Kraft *physikalisch gleich* wären.

An dieser Stelle wollen wir beiläufig darauf hinweisen, daß man aus der Gleichung

$$\mathring{\mathbf{B}} = \frac{\mathfrak{m}\,\mathfrak{m}_1}{l^2} \; \textit{dyn},$$

falls dieselbe in die Gestalt

$$\frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{m}_1} = \frac{\mathfrak{m}}{l^2}$$

gesetzt wird, auch einen anderen Ausdruck für die punktuelle Feldstärke findet, nämlich

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\mathfrak{m}}{l^2} \; \textit{gauss},$$

der angibt, daß in einem Punkte im Abstande l von einem Magnetpole der Stärke $\mathfrak{m}$ eine Feldstärke $\boldsymbol{\theta}$ herrscht, die der Polstärke dividiert durch das Quadrat des Abstandes gleich ist. Die gesamte superficielle sphärische Feldstärke wird dann, da die Oberfläche einer ganzen Niveaufläche im Abstande $l = r$ von dem Magnetpole $S = 4\pi r^2$ ist, wie vorhin,

$$\mathring{\Phi} = 4\pi r^2 \frac{\mathfrak{m}}{r^2} = 4\pi \mathfrak{m} \; \textit{maxwell}.$$

Im allgemeinen, d. i. für einen beliebigen Teil S der sphärischen Niveaufläche, hat man

$$\mathring{\Phi} = S \frac{\mathfrak{m}}{r^2} = \sigma \mathfrak{m}.$$

Im vorhergehenden war nur von dem magnetischen Felde eines mathematischen oder punktförmigen Magnetpoles die Rede; einen solchen Magnetpol gibt es, streng genommen, in der Tat nicht. In Wirklichkeit hat man nur mit physikalischen Magnetpolen, Magnetpolen mit Ausdehnung, zu tun, deren Feldstärke aber auch durch die Kraft, womit sie auf einen Versuchspol wirkt, ermittelt werden kann. Auch hier gilt die vorhin angeführte Gleichung

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{III}_1}\ \textit{gauss}.$$

Ist die punktuelle Feldstärke in dem in Frage kommenden Querschnitte nicht gleichmäßig (oder homogen, wie man gewöhnlich sagt), wie es in Wirklichkeit häufig der Fall ist, so läßt man $\boldsymbol{\theta}$ die mittlere punktuelle Feldstärke bezw. die mittlere magnetische Dichte in dem fraglichen Querschnitt S bezeichnen, und man erhält wieder

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \boldsymbol{\theta}\, S\ \textit{maxwell}.$$

Auf Grund der bestehenden gegenseitigen Beziehung zwischen *punktueller Feldstärke* und *superficieller Feldstärke per Flächeneinheit* ist es im allgemeinen nicht notwendig, verschiedene algebraische Bezeichnungen einzuführen. Wünscht man aber aus irgend einer Ursache verschiedene Bezeichnungen, kann man für diese $\boldsymbol{\theta}_S$ und für jene $\boldsymbol{\theta}_P$ schreiben.

Die Dimensionen der Einheiten *gauss* und *maxwell* sind

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}}_P = \mathring{\boldsymbol{\theta}}_S = \mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{III}_1} = \frac{\mathbf{C\,G\,S^{-2}}}{\mathbf{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}} = \mathbf{C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = 1\,\textit{gauss}$$

(vgl. Art. 64) und

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \boldsymbol{\theta} \cdot S = \frac{\mathbf{C\,G\,S^{-2}}}{\mathbf{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}} \cdot \mathbf{C^2} = \mathbf{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = 1\,\textit{maxwell}.$$

Wie man sieht, sind die Einheitsdimensionen für superficielle Feldstärke (Flächenfeldstärke) und für Polstärke identisch, was teils dadurch, daß die Polstärke auf Grund der zwischen zwei Polen auftretenden Kraftäußerung in *einer* Richtung definiert wird, und teils durch die Wahl der Einheit für punktuelle Feldstärke (Punktfeldstärke) hervorgerufen wird. Wenn man die im vorhergehenden erwähnte Gleichung

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \frac{S}{r^2}\mathbf{III} = \sigma\,\mathbf{III}\ \textit{maxwell}$$

betrachtet, findet man auch, da $\frac{S}{r_2} = \sigma$ eine reine Zahl mit der Dimension **I** ist, daß die durch $\boldsymbol{\Phi}$ und $\mathbf{III}$ bezeichneten Größen gleicher physikalischer Natur sein müssen.

67. Magnetismusstärke

$$\left(\Phi - \textbf{eff} - \mathscr{L}\right).$$

Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte

$$\left(\theta - \textbf{fitá} - \mathscr{O}\right).$$

Im letzten Artikel wurde von *Feldstärke in einem Punkte,* punktueller Feldstärke, und von *Feldstärke in einer Fläche,* superficieller Feldstärke, gesprochen. Will man aber den Ausdruck *Feldstärke* reservieren, um damit, wie es auch tatsächlich meistens geschieht, nur einen punktuellen magnetischen Zustand, also dasjenige, was wir im vorigen Artikel punktuelle Feldstärke nannten, zu bezeichnen, so muß man einen anderen Ausdruck wählen für dasjenige, was wir dort superficielle Feldstärke nannten. Hierfür gibt es schon verschiedene Ausdrücke, wie magnetischen Kraftfluß *(flux de force magnétique),* magnetische Stromstärke u. dgl., deren Angemessenheit aber nur dann unanfechtbar wäre, falls man sicher annehmen könnte, daß der Magnetismus in dem sogen. magnetischen Kreise fortdauernd fließt oder strömt, was jedoch keineswegs als bewiesen hingestellt werden darf. Deswegen sind solche Ausdrücke nur da angemessen, wo man aus besonderem Grunde von strömendem Magnetismus sprechen will (vgl. Art. 98), aber für alle anderen Fälle würden wir den Ausdruck *Magnetismusstärke* geeigneter finden, den wir auch im folgenden benutzen werden. Die algebraischen Bezeichnungen und die Bestimmungsgleichungen bleiben unverändert, also erhält man für die Magnetismusstärke die Gleichungen

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{III}_1} l^2 = \frac{S}{r^2} \mathbf{III} = \sigma \mathbf{III} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{III}_1} S = \boldsymbol{\theta} S \; \textit{maxwell}$$

und für die spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte

$$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \mathring{\boldsymbol{\theta}}_S = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{Ш}_1} = \frac{\mathbf{Ш}}{l^2} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{S} \text{ gauss}.$$

Die Einheitsdimensionen bleiben selbstverständlich auch wie vorher, also

$$\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1} = 1 \textit{ maxwell} \text{ und } \mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1} = 1 \textit{ gauss}.$$

68. Magnetische Tragkraft

(Ю — ju — *Ю*).

Magnetische Tragkraft ist die Fähigkeit eines Magnets bezw. einer Polfläche, eine Last mittels des Ankers zu tragen.

Um einen algebraischen Ausdruck für die Tragkraft einer Polfläche zu erhalten, denke man sich einen Magnet *a—c—d—c—b* (Fig. 3) mit Polstärken $+ \mathbf{Ш}$ und $- \mathbf{Ш}$ und den Polflächen *a—a* und *b—b,* welche jede einen Flächeninhalt S besitzen und sich im Abstande l voneinander befinden, und zwischen welchen ein Verbindungsstück *m* (dem Anker eines gewöhnlichen Hufeisenmagnets entsprechend — Fig. 4) angebracht ist; ferner denke man sich den Magnet in zwei gleiche Hälften *a—c—d* und *b—c—d* geteilt, welche durch eine Art Scharnier oder Gelenk *d* miteinander verbunden sind, so daß sich die beiden Magnethälften, falls man den Anker *m* und den Scharnierbolzen *d* als fest betrachtet, um den Bolzen drehen können, wenn der geschlossene Magnet, der *metallisch* geschlossene magnetische Kreis, infolge der Wirkung äußerer Kräfte in den magnetischen Querschnitten *a—a* und *b—b* geöffnet wird.

Es sei an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, daß ein magnetischer Kreis, falls man darunter einen Magnetismuskreis oder eine Menge kreisenden Magnetismus versteht, durch das Öffnen des Magnetmaterials oder des metallischen Magnetismusträgers nicht vollständig unterbrochen, wohl aber bezüglich der für das Auge nicht unmittelbar sichtbaren Gestalt der Magnetismusmenge mehr oder weniger verändert werden kann. Bei dem sogen. elektrischen Stromkreis ist es anders, denn bei diesem wird der elektrische Strom durch das Öffnen der metallischen Bahn oder der elektrischen Leitung vollständig unterbrochen. Die Ursache dieser Verschiedenheit liegt in den verschiedenen magnetischen und elektrischen Eigenschaften der umgebenden Luft: der Magnetismus verbreitet sich verhältnismäßig leicht in der Luft, die Elektrizität dagegen nicht.

Es wurde oben angenommen, daß die Polstärke des Magnets $\mathfrak{M}$ sei. Die gesamte (sphärische) Magnetismusstärke wird dann, wie im vorhergehenden gezeigt, gleich $4\pi\mathfrak{M}$ *maxwell.* Wenn man mit einem geschlossenen Magnet zu tun hat, verbreitet sich der Magnetismus aber nicht radial um den Pol herum, sondern konzentriert sich gleichsam in der Kontaktfläche, und die Magnetismusstärke in der Kontaktfläche wird im vorteilhaftesten Falle, d. i. bei effektivster Anordnung,

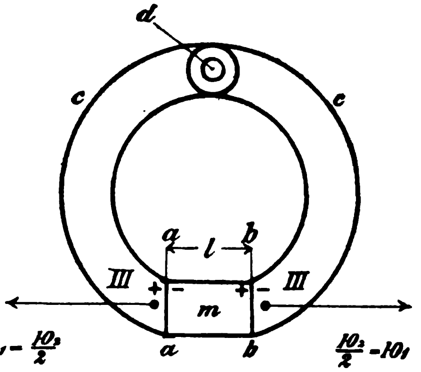
d
c
c
a
l
b
$\mathfrak{M}$
+
−
+
−
$\mathfrak{M}$
m
$\mathfrak{M}_1 - \frac{\mathfrak{M}_2}{2}$
a
b
$\frac{\mathfrak{M}_2}{2} - \mathfrak{M}_1$

Fig. 3.

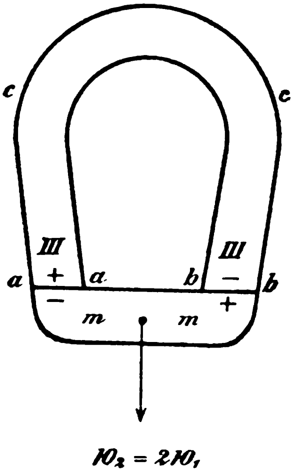
c
c
$\mathfrak{M}$
$\mathfrak{M}$
a
+
a
b
−
b
−
+
m
m
$\mathfrak{M}_2 = 2\mathfrak{M}_1$

Fig. 4.

$$\mathring{\Phi} = 4\pi\mathfrak{M} \textit{ maxwell.}$$

Wird die eine Magnethälfte, z. B. *a—c—d,* in ihrer Lage festgehalten, während die andere Hälfte beiseite gedreht und der Anker *m* weggenommen wird, so kann das Feld des festen Poles mittels eines Versuchsmagnets untersucht werden. Hat der Versuchspol eine Polstärke $\mathfrak{M}_1$ und wird er im Abstande l (= der Länge des Ankers) mit einer magnetischen Kraft $\mathbf{B}$ angezogen, erhält man

$$\mathring{\Phi} = 4\pi\frac{\mathbf{B}}{\mathfrak{M}_1}l^2 \textit{ maxwell},$$

woraus

$$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\Phi}{4\pi}\frac{\mathfrak{M}_1}{l^2}\ dyn.$$

Setzt man $\mathfrak{M}_1 = -\mathfrak{M}$, d. h. bringt man den nach der Seite geführten Magnetpol $(=\mathfrak{M})$ in seine Lage zurück und benutzt denselben als Versuchspol, hat man

$$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\Phi}{4\pi}\cdot\frac{\mathfrak{M}}{l_2}\ dyn$$

und, da $\frac{\mathfrak{M}}{l^2} = \theta$ ist,

$$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\Phi}{4\pi}\theta\ dyn.$$

Nimmt man nun an, daß der gesamte Magnetismus ausschließlich durch die Polflächen *a*—*a* und *b*—*b* nach außen wirkt, oder daß er ausschließlich von diesen Polflächen rechtwinklig ausgeht, so ergibt sich, da $\Phi = \theta S$ ist,

$$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\Phi}{4\pi}\theta = \frac{\theta S}{4\pi}\theta = \frac{\theta^2 S}{4\pi} = \mathring{\mathfrak{K}}_2\ dyn.$$

Es ist $\mathfrak{K}$ die äußere Kraft (die maximale Tragkraft), welche erforderlich ist, um der inneren oder magnetischen Kraft $\mathfrak{B}$ das Gleichgewicht zu halten oder um die beiden Magnetpole gleichzeitig nach außen zu führen; oder, was dasselbe ist, diejenige Kraft, welche nötig ist, wenn der Anker *m* zwischen den Polflächen liegt und somit den magnetischen Kreis metallisch schließt, um den ringförmigen Magnet, den metallischen magnetischen Kreis, auf *zwei* Stellen (*a*—*a* und *b*—*b*) gleichzeitig zu öffnen; oder, was auch dasselbe ist, diejenige Kraft, die gerade hinreichend ist, um den Anker *m* (Fig. 4) von dem Magnet loszureißen. — Handelt es sich darum, den geschlossenen Magnet oder den magnetischen Kreis bloß an *einer* Stelle zu öffnen, so braucht man natürlich nur eine halb so große äußere Kraft, und wird die Tragkraft (vgl. Fig. 4) offenbar auch nur halb so groß wie vorhin, also

$$\mathring{\mathfrak{K}}_1 = \frac{1}{2}\frac{\theta^2 S}{4\pi}\ dyn.$$

Es leuchtet ein, daß die zulässige oder praktische Tragkraft eines Magnets viel kleiner genommen werden muß als die durch die obigen Formeln berechnete oder theoretische (maximale) Tragkraft.

Die Tragformel kann man auch auf folgende einfache Weise herleiten: — Es ist

$$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \frac{\textbf{Б}}{\textbf{Ш}} S \ \textit{maxwell},$$

woraus

$$\mathring{\textbf{Б}} = \boldsymbol{\Phi} \frac{\textbf{Ш}}{S} \ \textit{dyn}.$$

Nun ist aber $\boldsymbol{\Phi} = 4\pi\,\textbf{Ш}$, woraus $\textbf{Ш} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{4\pi}$, und, da auch $\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{\theta} S$ ist,

$$\mathring{\textbf{Б}} = \frac{\boldsymbol{\Phi}^2}{4\pi S} = \frac{(\boldsymbol{\theta} S)^2}{4\pi S} = \frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi} = \mathring{\textbf{Ю}}_2 \ \textit{dyn}$$

um den Magnet an *zwei* Stellen gleichzeitig zu öffnen.

Man kann außerdem zu der Tragformel auf verschiedenen anderen Wegen gelangen, welche aber teilweise sehr kompliziert und daher für unsere Zwecke weniger geeignet sind, wenn sie auch mathematisch vollkommener und eleganter sein mögen.

Die Einheit für magnetische Tragkraft ist dieselbe wie für mechanische und magnetische Kraft, also im **C. G. S.**-System das Dyn. Man hat nämlich

$$\left.\begin{aligned} \mathring{\textbf{Ю}}_2 &= \frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi} \\ \mathring{\textbf{Ю}}_1 &= \frac{1}{2}\,\frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi} \end{aligned}\right\} \quad (\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})^2 \cdot \mathbf{C}^2 = \mathbf{C\,G\,S}^{-2} = 1 \ \textit{dyn}.$$

Die Zifferfaktoren in diesen Gleichungen haben keinen Einfluß auf den Dimensionsausdruck.

Wünscht man die Tragkraft $\textbf{Ю}$ in *kg* ausgedrückt, während die magnetische Dichte $\boldsymbol{\theta}$ und der Flächeninhalt S des magnetischen Querschnittes in **C. G. S.**-Einheiten, also in *gauss* und cm^2, ausgedrückt werden sollen, so nehmen die Gleichungen die folgende Form an: für *zwei* Trennungsstellen

$$\textbf{Ю}_2 = \frac{1}{10^3\,\mathring{g}}\,\frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi} \ \textit{kg}$$

und für nur *eine* Trennungsstelle

$$\textbf{Ю}_1 = \frac{1}{10^3\,\mathring{g}}\,\frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{8\pi} \ \textit{kg}.$$

G. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten.

69. Induktion.

In diesem Artikel wollen wir speziell zweier Arten von Induktion Erwähnung tun: **A.** Induktion von Magnetismus durch Elektrizität und **B.** Induktion von Elektrizität durch Magnetismus. Jene Induktion würde vielleicht geeignet *elektromagnetische*, und diese *magnetoelektrische* Induktion benannt werden können (vgl. Art. 55 und 65). Eine umgekehrte Benennung könnte dagegen zu Mißverständnissen führen.

A. Elektromagnetische Induktion.

Wenn ein Leiter (Kupferdraht o. dgl.) von einem elektrischen Strom durchflossen wird, treten die Wirkungen des Stromes nicht nur in (bezw. auf) dem Leiter hervor, sondern auch in der Umgebung des Leiters. Die Wirkungen zeigen sich hauptsächlich in zwei Formen: in dem Leiter in Form von Wärme und in der Umgebung in Form von Magnetismus, d. h. die elektrische Energie wird in diesem Falle hauptsächlich in kalorische (thermische) und magnetische Energie umgesetzt. Wie die Wärme in dem Leiter und wie der Magnetismus in der Umgebung des Leiters eigentlich gebildet wird, weiß man mit vollkommener Sicherheit nicht. Daß die Wärme auf Grund eines sogen. elektrischen Widerstandes gebildet wird, ist anzunehmen, aber unser sonstiges Wissen in der Sache ist nur hypothetisch, weil man die Natur der Elektrizität nicht näher kennt und auch nicht die Art und Weise, auf welche die Elektrizität sich fortpflanzt. In Betreff der entstandenen Wärme kann angenommen werden, daß sie denselben Gesetzen gehorcht wie die Wärme im allgemeinen. Bezüglich des magnetischen Zustandes, der sich um den Leiter herum zu erkennen gibt, kennt man fast nichts als dessen Äußerungen und Wirkungen, und hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem magnetisierenden elektrischen Strome in dem Leiter und dem in der Umgebung des Leiters auftretenden Magnetismus hat man bisher auch keine völlig befriedigende Erklärung gefunden. Bis auf weiteres muß man sich also mit der beobachteten Tatsache begnügen, daß um jeden Elektrizität führenden Leiter ein magnetischer Zustand oder ein magnetisches Feld entsteht, und daß Magnetismus in Stoffen induziert wird, welche sich in der Nähe des Leiters befinden, oder, wie man auch sagt, daß Stoffe, die sich im Felde befinden, magnetisiert werden. Der induzierte Magnetismus kann natürlich in jedem Falle als eine gewisse Form von Energie (magnetische Energie) betrachtet werden. Die im Leiter erzeugte kalorische Energie pflanzt sich in der Luft viel leichter und weiter vom Leiter fort als die magnetische Energie; irgend ein (thermoelektrisches) induktives Reaktionsvermögen hat die in der Umgebung des Leiters befindliche kalorische Energie offenbar nicht, wohl aber nimmt der elektrische Leitungswiderstand zu, wenn sich die Temperatur in der Umgebung bezw. in dem Leiter erhöht. Der im Raume um den Leiter erzeugte Magnetismus (die magnetische Energie) hingegen konzentriert sich mehr in der nächsten Umgebung des Leiters: unmittelbar neben dem Leiter am dichtesten und je entfernter von diesem desto dünner; und er zeigt ein starkes induktives Reaktionsvermögen. Inwiefern der um den Leiter entstehende oder der in dem den Leiter umgebenden Stoffe induzierte Magnetismus sich zum Teil vom Leiter entfernen und den Zusammenhang mit dem fraglichen elektromagnetischen System verlieren kann, ist schwer zu entscheiden. Der erzeugte Magnetismus scheint sich jedoch zum größten Teil dem Leiter so nahe wie möglich zu sammeln, aufzuspeichern, und kann nur durch Zwang, d. h. durch Überwindung von hindernden Kräften, nach außen getrieben werden; er sucht den Zusammenhang mit dem System aufrecht zu erhalten und strebt stets danach, sich dem Leiter wieder zu nähern und wieder in elektrische Energie überzugehen (wobei wahrscheinlich ein größerer oder kleinerer sogen. Umsetzungsverlust stattfindet), woraus folgt, daß der magnetische Zustand hemmend und retardierend auf den elektrischen Strom wirken muß. Solange der magnetisierende oder Magnetismus induzierende elektrische Strom von konstanter Stärke ist, scheint der magnetische Zustand sich auch, praktisch genommen, sowohl hinsichtlich der magnetischen Dichte, als auch der radialen Ausdehnung des magnetischen Feldes konstant zu halten, d. h. man hat es mit einer konstanten Menge potentieller magnetischer Energie zu tun. Sobald aber die Stärke des magnetisierenden Stromes zu- oder abnimmt, nimmt auch die magnetische Dichte und die radiale Ausdehnung des Feldes zu oder ab. Jede Veränderung in der Stärke des magnetisierenden Stromes versetzt folglich das magnetische

Feld und den in dem umgebenden Stoffe induzierten Magnetismus in einen dynamischen Zustand, bestehend in radialen Bewegungen überall um den magnetisierenden Leiter. Die magnetische Menge besitzt offenbar ein gewisses Beharrungsvermögen oder eine gewisse Trägheit (magnetische Trägheit), und infolgedessen geben sich Änderungen, welche an der Erzeugungsstelle des magnetisierenden Stromes stattfinden, nicht augenblicklich in entsprechenden Änderungen in der Stärke des elektrischen Stromes zu erkennen. Diese Retardation oder Verspätung der Stromstärke ist natürlich verschwindend klein bei kurzen Leitungen, aber bedeutend bei langen Leitungen und großen Mengen elektrischer Energie.

Wird der magnetisierende Strom plötzlich unterbrochen, so verschwindet auch gleichzeitig die Ursache zu der um den Leiter aufgespeicherten potentiellen magnetischen Energie, welche dann sehr schnell in kinetische magnetische Energie übergeht, die durch ihre induktive Reaktion einen heftigen Rückwärts- (Extra-)Strom hervorruft, dessen Richtung entgegengesetzt ist zu der desjenigen Stromes, welcher von der Elektrizitätsquelle ausging und den magnetischen Zustand, die erwähnte magnetische Energie, erzeugte. Dieser elektrische Rückwärtsstrom ruft natürlich auch ein magnetisches Feld um den Leiter hervor, aber ein Feld von entgegengesetzter magnetischer Polarität. Die erwähnten radialen Bewegungen des magnetischen Feldes oder des Magnetismus dürfen keineswegs mit den (vermeintlichen) kreisförmigen Bewegungen verwechselt werden, welche, wie man annimmt, rings um den magnetisierenden Leiter stattfinden und den sogenannten magnetischen Strom kennzeichnen. Für den Fall, daß solche kreisförmige Bewegungen wirklich stattfinden (und das darf ja nicht als *absolut* unmöglich angesehen werden) gleichzeitig mit den unzweifelhaft bestehenden radialen Bewegungen, welche bei jeder Änderung in der Stärke des magnetisierenden Stromes vorkommen, würde man, falls man gleichzeitig die Bewegung der Elektrizität beachtet, geneigt sein, ein neues Bild von den dynamischen Vorgängen bei der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Induktion aufzustellen; aber ehe man auf Grund sorgfältiger und praktischer Experimente in Besitz solcher Daten gelangt ist, aus denen man sichere Schlüsse ziehen kann, ist es ratsam, die Induktionslehre nicht mit noch mehr Annahmen rein spekulativer Natur zu belasten.

Das magnetische Feld im Raume um den magnetisierenden Leiter kann, wie bei den Magneten, für das Auge sichtbar dargestellt werden mit Hilfe von Eisenfeilspähnen, welche auf eine Scheibe von isolierendem Material (Glas, Karton o. dgl.) gestreut werden, in dessen Mitte der gerade Leiter durch ein kleines Loch geführt und winkelrecht zur Scheibe eingestellt wird. Hierbei ordnen sich die Eisenfeilspähne in metallische Ringe (ringförmige magnetische Feilspahnfäden) konzentrisch um den Strom führenden Leiter, welche Ringe als eine Kombination von kleinen Magneten anzusehen sind. Die Feilspahnringe zeigen sich am deutlichsten und am dichtesten in der nächsten Nähe des Leiters und geben ein recht anschauliches Bild von der Ausdehnung und der Beschaffenheit des induzierten Feldes. Daß die Stärke des magnetischen Feldes von der elektrischen Stromstärke im Leiter abhängig sein muß, ist leicht zu ersehen. — Wenn man, wie üblich, annimmt (Wohlgemerkt, diese Annahme ist ganz willkürlich!), daß der Magnetismus in dem Felde eines Magnets sich vom positiven (Nord-)Pol, womit wir einen Pol verstehen, der, falls der Magnet frei aufgehängt wäre, gegen Norden zeigen würde, zum negativen (Süd-)Pol bewegt (also innerhalb des Magnets selbst vom Süd- zum Nordpol), darf man selbstredend ebenso willkürlich annehmen, daß der Magnetismus in dem magnetischen Felde eines Stromleiters sich auf eine entsprechende Weise bewege, und daß eine kreisförmige Bewegung um den magnetisierenden Leiter als Achse bestehe, obgleich man in diesem Fall nicht das hat, was man freie Magnetpole nennt. Es sei an dieser Stelle besonders hervorgehoben, daß der Magnetismus an den Nordpolen (den nordzeigenden Polen) bei unseren künstlichen Magneten von derselben (gleichnamigen) Polarität ist, wie der Magnetismus am Südpole der Erde. Daß die Erde magnetisch ist und zwei magnetische Pole hat, entdeckte schon Gilbert und erklärte damit die Ursache zur Einstellung der Magnetnadel in den magnetischen Meridian der Erde.

In Hinsicht auf die Richtung der magnetischen Polarität (die kontinuierliche Polrichtung längs der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten sämtlicher normalen Querschnitte des magnetischen Kreises) kann der magnetische Zustand um einen Elektrizität führenden Leiter annäherungsweise verglichen werden mit dem magnetischen Zustande, welcher entsteht, wenn die beiden Polflächen eines gleichförmig magnetisierten Eisenstabes in vollkommene Berührung (Kontakt) miteinander gebracht werden und der Stab dabei so geformt wird, daß ein metallisch geschlossener kreisförmiger

Ring entsteht, oder welcher in einem metallisch geschlossenen Ring besteht, der aus einer großen Anzahl magnetischer Sektoren gleicher Größe, Form und magnetischer Stärke zusammengesetzt ist.

Die Polarität eines magnetischen Kreises oder Feldes oder die Richtung des vermeintlichen oder angenommenen magnetischen Stromes um einen Elektrizität führenden Leiter kann mit Hilfe einer Magnetnadel und irgend einer Gedächtnisregel nach dem Vorbilde der bekannten *Ampèreschen* Schwimmregel oder auch nach anderen Methoden festgestellt werden.

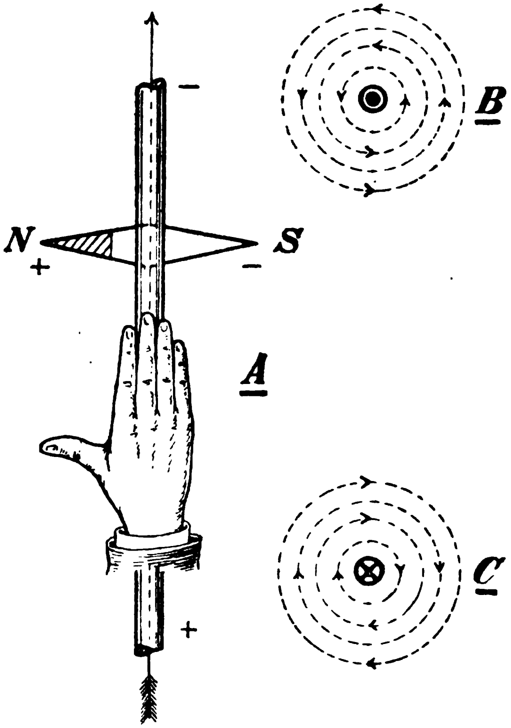

Fig. 5.

Schwimmregel: — *Denkt man sich in der Achse des elektrischen Leiters in der angenommenen Richtung des Stromes schwimmend und nach der Magnetnadel sehend, so wird der Nordpol der Nadel nach der Seite abgelenkt, nach welcher die linke Hand bei seitwärts ausgestreckten Armen zeigt.*

Eine andere Regel ist folgende: — *Hält man einen Elektrizität führenden Leiter (Fig. 5) über oder vor eine Magnetnadel und dann die rechte Hand flach ausgestreckt über oder vor den Leiter mit der inneren Seite der Hand gegen den Leiter und parallel zu der Ebene, in welcher die Magnetnadel schwingt, und mit dem Daumen winkelrecht zu den übrigen Fingern ausgestreckt, und hält man dabei die Hand so, daß die vier nebeneinander liegenden Finger in der angenommenen Bewegungsrichtung der Elektrizität (in der Richtung des elektrischen Stromes) zeigen, so wird der Nordpol der Magnetnadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher der Daumen zeigt.*

In beiden Fällen zeigt der Nordpol der Magnetnadel die Richtung an, nach welcher der Magnetismus vermeintlich (oder der gedachte magnetische Strom) um den elektrischen Leiter kreist.

Der Zusammenhang, in welchem die angenommene Richtung eines elektrischen Stromes in einem Leiter zu der Polarität des von diesem Strome erzeugten magnetischen Feldes oder zu der vermeintlichen Bewegungsrichtung des von diesem Strome um den Leiter erzeugten Magnetismus oder zu der Richtung des vermeintlichen magnetischen Stromes steht, läßt sich auch mit Hilfe einer Gedächtnisregel nach dem Vorbilde der *Maxwellschen* Korkzieherregel bestimmen: — *Denkt man sich einen gewöhnlichen Korkzieher mit seiner Achse in der Achse des elektrischen Strom führenden Leiters, und dreht man den Korkzieher, so stehen die fortschreitende Längsbewegung und die rotierende Bewegung bei dem Korkzieher in demselben Zusammenhang, wie die Richtung des elektrischen Stromes und die des magnetischen Stromes.*

Bei Zeichnungen, welche elektrische Leitungen im Querschnitt darstellen, kann die angenommene Richtung des elektrischen Stromes nach einem Vorschlag von Sylvanus P. Thompson durch einen Punkt (die Spitze eines Pfeiles) in dem Querschnitte des Leiters (Fig. 5 *B* und Fig. 6 *B*), wenn der Strom auf den Beschauer zu geht, und durch ein Kreuz (die Feder des Pfeiles) in dem Querschnitte (Fig. 5 *C*), wenn der Strom sich von dem Beschauer entfernt, sehr vorteilhaft angedeutet werden. Aus diesen Figuren geht deutlich hervor, *daß sich der Magnetismus im Falle eines geraden elektrischen Stromleiters um diesen in der Drehrichtung des Zeigers einer Uhr bewegt oder kreist, wenn man in der Richtung sieht, nach welcher der elektrische Strom geht (Fig. 5 C), aber in entgegengesetzter Richtung, also umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr, wenn man in* *der Richtung sieht, von welcher der elektrische Strom kommt (Fig. 6 B)*; und daraus ergibt sich nun noch die folgende einfache Gedächtnisregel in Bezug auf den Zusammenhang zwischen der angenommenen Richtung eines elektrischen Stromes und der Richtung des von diesem elektrischen Strome herrührenden vermeintlichen magnetischen Stromes: — *Faßt man (Fig. 6 A) den elektrischen Leiter mit der rechten Hand so an, daß der Daumen in der Richtung zeigt, nach welcher der elektrische Strom geht, so zeigen die übrigen, den Leiter umschließenden Finger die Richtung an, nach welcher der Magnetismus sich rings um den Leiter bewegt.*

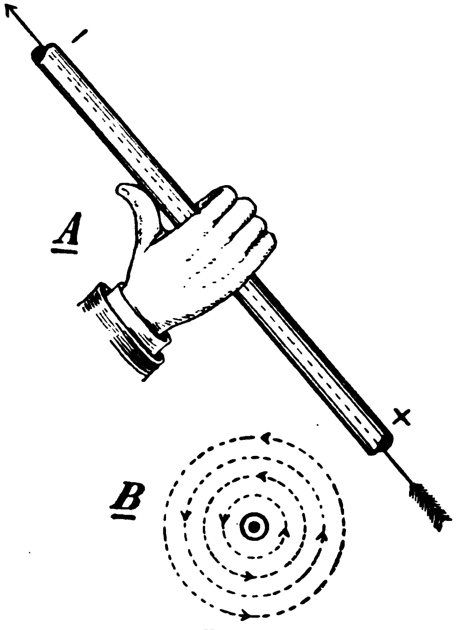

Fig. 6.

Man nimmt an (Diese Annahme ist aber vollkommen willkürlich!), daß der elektrische Strom von dem positiven Pole der Elektrizitätsquelle ausgeht, d. h. von dem Pole, welcher der Polklemme des Kupfers bei einem galvanischen (nach Luigi Galvani) Element entspricht, und an ihrem negativen Pole wieder eintritt, d. h. an dem Pole, welcher der Polklemme des Zinkes bei dem galvanischen Element entspricht.

Hat man im magnetischen Felde eines elektrischen Leiters eine freie Magnetnadel, und denkt man sich ein Raumteilchen längs der Nadel, so liegen die Pole dieses Raumteilchens in entgegengesetzter Richtung zu den Polen der Nadel.

Daß eine Magnetnadel in der Nähe eines Elektrizität führenden Leiters ablenkt, entdeckte Romagnosi schon Anfang des 19. Jahrhunderts (etwa 1802), und daß sich die Nadel winkelrecht zu der elektrischen Stromrichtung stellt, und daß die Richtung der Nadel bezüglich der Pole von der Lage des Leiters im Verhältnis zu der Nadel und von der elektrischen Stromrichtung abhängig ist, zeigte Örsted 1819. Um das Jahr 1820 entdeckte Arago, daß ein Elektrizität führender Leiter Eisenfeilspähne anzieht, welche festgehalten werden, solange der elektrische Strom den Leiter durchfließt, aber abfallen, sobald der Strom im Leiter unterbrochen wird, und er bewies dadurch das Vorhandensein magnetischer Wirkungen oder eines magnetischen Feldes um einen Leiter, der von einem elektrischen Strome durchflossen wird.

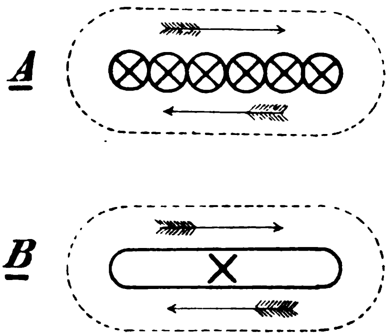

Fig. 7.

Bestehen nebeneinander (Fig. 7 *A*) mehrere ähnliche elektrische Leiter mit derselben Stromrichtung, so induzieren sie, auch wenn sie voneinander isoliert sind, ein gemeinsames magnetisches Feld und wirken sonach in magnetischer Hinsicht als ein einziger bandförmiger Leiter gleicher Ausdehnung (Fig. 7 *B*), der dieselbe Stromstärke besitzt wie die einzelnen Leiter zusammen. Genau so wird das Ergebnis sein, wenn es zwei oder mehrere einzelne Lagen von Leitern übereinander gibt, vorausgesetzt, daß die gesamte Stromstärke und die Ausdehnung dieselbe ist.

Wird der elektrische Stromleiter in Form eines einfachen Ringes (= einer einzelnen Windung) gebogen, oder wird er in mehreren voneinander isolierten Windungen (Fig. 8) gewunden, so daß er dasjenige bildet, was man ein Solenoid nennt, so erhält das dann entstehende magnetische Feld Ähnlichkeit mit dem magnetischen Felde eines geraden Magnets von derselben Länge (*l*) und Gestalt, welche der Ring oder das Solenoid hat. Das Solenoid, sowie der einfache Ring erhalten magnetische Pole *N* und *S*. Hält man über das Solenoid ein Blatt steifen Papiers o. dgl. und bestreut dasselbe mit Eisenfeilspähnen, so bilden sich, gleichwie bei einem Magnet, magnetische Feilspahnfäden und magnetische Figuren. Wenn die Länge des Solenoids im Verhältnis zum Durchmesser ziemlich groß ist wird sein inneres magnetisches Feld homogen bis in die Nähe der Enden. Auch in sonstiger Hinsicht wirkt das Solenoid wie ein Magnet: Magnetpole werden von ihm angezogen und abgestoßen, es stellt sich wie eine Magnetnadel mit seiner Längsachse (*a*—*b*) in den magnetischen Meridian ein. Hieraus geht hervor, daß das magnetische Feld eines elektrischen Stromleiters denselben Einfluß auf das Feld eines anderen Stromleiters haben muß, wie ein solches Feld auf einen wirklichen Magnet hat. Im Jahre 1821 fand Ampère, daß Elektrizität führende, frei bewegliche Leiter einander in bestimmter Weise anziehen und abstoßen. Daß diese Anziehung und Abstoßung von den magnetischen Feldern, die durch die elektrischen Ströme in den fraglichen Leitern induziert werden, ab-

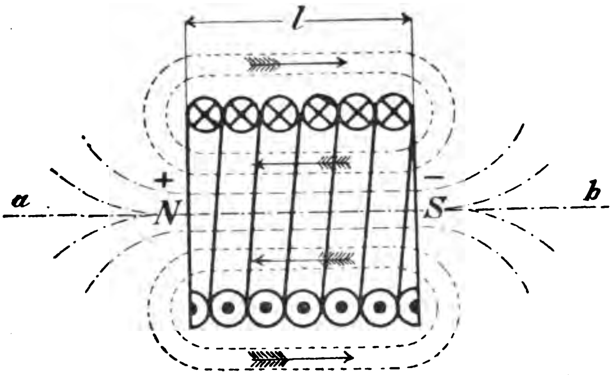

Fig. 8.

hängig sein muß, ist klar. Kennt man die elektrische Polarität oder die Stromrichtung und die Form des elektrischen Leiters, so hat man dadurch sofort einen Begriff bezüglich der Beschaffenheit und der Polarität des magnetischen Feldes, und man weiß dann auch, wie die elektrischen Leiter, wenn sie frei beweglich sind, sich im Verhältnis zu einander einstellen werden.

Die Luft, die sich in dem magnetischen Felde eines elektrischen Stromleiters befindet, wird in magnetischen Zustand versetzt oder magnetisiert, wobei die Luft, welche dem magnetisierenden Leiter am nächsten liegt, offenbar am stärksten magnetisiert wird, ebensowie die Luft, welche einer Wärmequelle am nächsten liegt, am stärksten erwärmt wird. Die Fähigkeit, Magnetismus aufzunehmen und zu leiten, ist bei den verschiedenen Stoffen verschieden, d. h. die Stoffe haben verschiedene magnetische Eigenschaften oder sind mehr oder weniger leicht zu magnetisieren. Die magnetische Aufnahme- (bezw. Leit-)Fähigkeit ist nicht konstant für einen und denselben Stoff, sondern variiert mit dem Magnetisierungsgrad oder der magnetischen Dichte.

Je größer die magnetische Aufnahmefähigkeit bei einem Stoffe ist, desto stärker ist auch die Anziehung zwischen dem Stoffe und dem magnetisierenden Leiter, und desto näher schiebt sich der Stoff dem Leiter zu, wenn er selbst frei beweglich und der Leiter fest ist. Wenn man mehrere in magnetischer Hinsicht verschiedene Stoffe in gemischtem Zustande in den magnetischen Wirkungsbereich eines elektrischen Stromleiters brächte, so würden sich die Stoffe, falls sie untereinander vollständig frei beweglich wären, umeinander verschieben und sich derartig ordnen, daß diejenigen Stoffe, welche die größte magnetische Aufnahmefähigkeit besitzen, dem Leiter am nächsten Stellung nähmen und diejenigen Stoffe, welche die kleinste Aufnahmefähigkeit besitzen, dem Leiter am weitesten entfernt blieben. Stoffe, die entsprechend geringere Aufnahmefähigkeit als Luft besitzen, würden verhältnismäßig weit weg vom Leiter getrieben werden und würden erst in einer Niveaufläche stehen bleiben, welche dasselbe magnetische Potential besäße, das der Stoff sich erworben hätte, oder in einem Punkte, in welchem die magnetische Dichte der Luft der des fraglichen Stoffes gleich wäre. Es muß beachtet werden, daß die Luft selbst in diesem Falle nicht als ein frei beweglicher Stoff angesehen werden kann, sondern daß sie von dem äußeren Druck gezwungen wird, sich dem elektrischen Leiter zu nähern und sohin sämtliche bestehende Zwischenräume auszufüllen. Die Luft muß also eine Zwangsmagnetisierung erleiden, wodurch ihre magnetische Dichte bestimmt wird. Ebenso würde es anderen Stoffen ergehen, die gezwungen werden, sich in einem magnetischen Felde oder in der Nähe eines magnetisierenden Leiters aufzuhalten. Wird ein gerader, Elektrizität führender Leiter nur von Luft oder von einem anderen, den Leiter auf eine ähnliche Weise umschließenden Stoff (z. B. ein anderes Gas, eine Flüssigkeit, ein Metall) umgeben, wird ein symmetrisch zylindrisches magnetisches Feld induziert, welches seine geometrische Achse in der Achse des magnetisierenden Leiters hat. Um einen solchen geraden magnetisierenden elektrischen Leiter kann man sich zylindrische konzentrische Niveauflächen denken, von welchen diejenigen, welche dem Leiter am nächsten liegen, das höchste, und diejenigen, welche vom Leiter am weitesten weg liegen, das niedrigste Potential besitzen. Das magnetische Potential einer bestimmten Niveaufläche und die magnetische Dichte in einem bestimmten Punkte ändert sich mit der elektrischen Stromstärke in dem magnetisierenden Leiter, woraus hervorgeht, daß ein Stoff mit verhältnismäßig geringer magnetischer Aufnahmefähigkeit sich nicht immer in demselben Abstande von der Achse einstellen, sondern sich stets eine Niveaufläche entsprechenden Potentials suchen würde.

Alle Stoffe, einerlei, ob sie fest, flüssig oder gasförmig sind, sind wahrscheinlich für Magnetismus mehr oder weniger empfänglich. Wenn man die Stoffe nach ihrer Fähigkeit, Magnetismus aufzunehmen, ordnen wollte, würde man eine Art *magnetische Serie* erhalten, worin die Stoffe, welche die höchsten magnetischen Eigenschaften (die größte magnetische Aufnahmefähigkeit bezw. Leitfähigkeit) besitzen, voran, und die, welche die geringsten magnetischen Eigenschaften besitzen, zuletzt kämen. Ein Stoff, der eine große magnetische Aufnahmefähigkeit besitzt, hat allem Anschein nach in eben demselben Grade eine große magnetische Leitfähigkeit bezw. einen geringen magnetischen Leitungswiderstand. Für die Aufstellung einer vollständigen und korrekten magnetischen Serie hat man noch nicht genügendes Grundmaterial. Folgende 20 Stoffe dürften als Beispiel einer derartigen magnetischen Serie dienen, in welcher Eisen den ersten und Wismut den letzten Platz einnimmt:

1. Schwedisches Schmiedeeisen,
   Elektromagnetstahl,
   Gußeisen,
2. Nickel,
3. Kobalt,
4. Mangan,
5. Chrom,
6. Sauerstoff,
7. Luft,
8. Stickstoff,
9. Wasser,
10. Wasserstoff,
11. Kupfer,
12. Zink,
13. Silber,
14. Zinn,
15. Antimon,
16. Platin,
17. Gold,
18. Quecksilber,
19. Blei,
20. Wismut.

Hierbei sei ausdrücklich bemerkt, daß die Reihenfolge in dieser Serie nicht den geringsten Anspruch auf Vollkommenheit macht. Der zufällige Zustand und der chemische Reinheitsgrad des Stoffes spielt bei dem Ordnen eine bedeutende Rolle.

Es sei auch an dieser Stelle die Aufmerksamkeit auf den Umstand gelenkt, daß die Metalle, wenn sie mit Rücksicht auf ihre Wärmeaufnahmefähigkeit oder mit Rücksicht auf ihre Atomgewichte geordnet werden, ungefähr in dieselbe Reihenfolge kommen, wie sie in der magnetischen Serie stehen. So ist es auch der Fall mit Gasen und Flüssigkeiten, jedoch mit dem Unterschiede, daß diese in umgekehrter Reihenfolge erscheinen. Je größer die Wärmeaufnahmefähigkeit oder je kleiner das Atomgewicht eines Metalles ist, desto größer ist meistens auch die magnetische Aufnahmefähigkeit dieses Metalles. Bei Gasen und Flüssigkeiten ist es umgekehrt.

Daß die natürlichen (die Natur-) Magnete Eisen anziehen, kannten schon die alten Griechen und Römer, und daß die Stoffe nicht die gleichen magnetischen Eigenschaften besitzen, vermutete wahrscheinlich Brugmans schon im Jahre 1778, als er entdeckte, daß das Wismut sowohl den Nordpol, als auch den Südpol eines Magnets abstößt. Im Jahre 1845 untersuchte Faraday eine Menge Stoffe mit Rücksicht auf ihre magnetischen Eigenschaften und nannte diejenigen Stoffe, welche in der Luft von einem Magnet angezogen werden, *paramagnetisch*, und diejenigen Stoffe, welche in der Luft von einem Magnet abgestoßen werden, *diamagnetisch.*

Aus dem Vorhergesagten läßt sich folgern, daß die Abstoßung eines in der Luft frei beweglich aufgehängten Stoffes durch die magnetischen Pole darauf beruht, daß dieser Stoff eine kleinere magnetische Aufnahmefähigkeit oder einen größeren magnetischen

Widerstand als die Luft besitzt, so daß die Luft den Platz nächst dem magnetischen Zentrum für sich beansprucht. Da man in der Praxis immer mit der Luft als dem umgebenden Medium zu rechnen hat, ist die von Faraday vorgeschlagene Klassifikation in mancher Hinsicht sehr vorteilhaft.

Zufolge der verschiedenen magnetischen Eigenschaften der Stoffe mit Rücksicht auf das Aufnehmen und Leiten des Magnetismus kann angenommen werden, daß der Stoff, der den magnetisierenden elektrischen Leiter umgibt, auch auf das Erzeugen oder Induzieren, sowie auf das Konzentrieren des Magnetismus um den Leiter herum Einfluß haben muß. Je stärker paramagnetisch der den Leiter umgebende Stoff ist, welchen wir uns von bestimmter Ausdehnung und von zylindrischer Form denken, oder auch, je größer die magnetische Aufnahme- oder Leitfähigkeit oder je kleiner der magnetische Widerstand dieses Stoffes ist, desto mehr wird die Erzeugung von Magnetismus gefördert und desto quantitativ größer wird der in dem fraglichen Stoffe induzierte Magnetismus oder der um den elektrischen Leiter kreisende magnetische Strom. Es wird sich infolgedessen mehr Magnetismus sammeln oder konzentrieren in einem bestimmten Raume in der Umgebung des Leiters, wenn dieser Raum von Luft ausgefüllt ist, als es der Fall sein würde, wenn er von Wismut ausgefüllt wäre, und mehr Magnetismus, wenn der Raum von Eisen ausgefüllt ist, als es der Fall sein würde, wenn er von Luft angefüllt wäre u. s. w. Will man in zwei einander vollkommen gleichen Zylindern oder zylindrischen Räumen (vgl. Fig. 10), in deren Achsen magnetisierende Leiter angebracht sind, eine gleiche Menge Magnetismus oder dieselbe magnetische Dichte induzieren, so muß man, falls die Zylinder von verschiedener Substanz sind (der eine Zylinder z. B. von Schmiedeeisen und der andere von einer anderen Substanz, z. B. Gußeisen, Nickel, Luft oder Kupfer), verschiedene elektrische Stromstärken in den magnetisierenden Leitern anwenden.

Gleichwie man von Stoffen mit verschiedener elektrisch leitender und isolierender Fähigkeit spricht, würde man auch von Stoffen mit verschiedener magnetisch leitender und isolierender Fähigkeit sprechen können. Je kleiner die Aufnahme- und Leitfähigkeit oder je größer der Leitungswiderstand eines Stoffes ist, desto größer sind auch die isolierenden Eigenschaften dieses Stoffes. Die magnetischen und elektrischen Eigenschaften der Stoffe kommen aber nicht in derselben Reihenfolge: vergleiche z. B. die ganz verschiedenen magnetischen und elektrischen Eigenschaften der trocknen Luft in Bezug auf ihre Leit- und Isolierfähigkeit.

Wenn ein Stückchen Eisen oder ein kleinerer Eisenstab *a*—*b* (Fig. 9) in das magnetische Feld (*d*—*e*—*f*) eines elektrischen Stromleiters eingeschoben wird, so wird der Stab magnetisiert und so polarisiert, wie die Figur andeutet. Hieraus erkennt man, warum sich eine Magnetnadel in einer bestimmten Richtung in dem Felde eines elektrischen Leiters einstellt (vgl. Fig. 5). Die im Eisenstabe *a*—*b* induzierte magnetische Polstärke wird stärker, je näher der Stab dem elektrischen Leiter kommt. Der eingeschobene Eisenstab nimmt nicht nur den Magnetismus auf, der sich ursprünglich in dem Raume befand, welcher nunmehr vom Eisenstab beansprucht wird, sondern er nimmt auch aus den nächstliegenden Teilen des Feldes Magnetismus auf, den er gleichsam in sich aufsaugt, und zwar in dem Verhältnis, wie es die Aufnahmefähigkeit des Eisens und die der Luft bestimmen. Hierdurch wird die magnetische Dichte im Eisenstabe bedeutend größer als in demselben Raume ohne Eisen, und wird auch das ganze magnetische Feld gewissermaßen verschoben, so daß die Niveauflächen ihre ursprüngliche zylindrische Form verlieren. Führt man dagegen anstatt des stark paramagnetischen Eisens einen diamagnetischen Stoff, z. B. Wismut, in das Feld ein, so wird die magnetische Dichte in dem vom Wismut beanspruchten Raume kleiner, als sie werden würde, wenn der Raum nur durch Luft ausgefüllt wäre. Der magnetisierte Eisenstab wirkt wie ein permanenter Magnet und ist zusammen mit dem magnetisierenden Teil des elektrischen Leiters als eine Art Elektromagnet zu betrachten. Bringt man in das magnetische

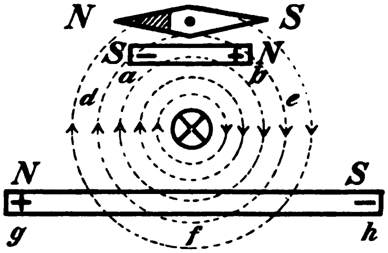

Fig. 9.

Feld *d—e—f* des elektrischen Stromleiters einen längeren Eisenstab *g—h*, welcher mit seinen Enden außerhalb der angenommenen Ausdehnung des aëromagnetischen Feldes liegt, so wird er auch magnetisiert und polarisiert, und, da das Eisen größere magnetische Leitfähigkeit als die Luft besitzt, wird der Magnetismus durch den Eisenstab teilweise weiter im Raume fortgeleitet und verursacht eine noch größere Deformierung der ursprünglichen zylindrischen Niveauflächen. Mit paramagnetischen Stoffen kann man also Magnetismus in gewisse Bahnen leiten. Je größer diamagnetisch der Stoff ist, der eine solche magnetische Bahn umgibt, desto kleiner wird die magnetische Streuung aus der Bahn. Mit stark diamagnetischen Stoffen kann man den Magnetismus von bestimmten Stellen bis zu einem gewissen Grade entfernen oder wenigstens die magnetische Dichte vermindern, was hier und da von Bedeutung sein kann.

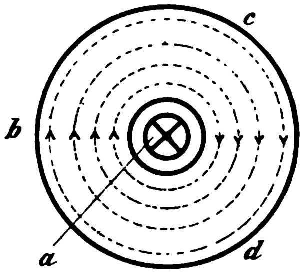

Fig. 10.

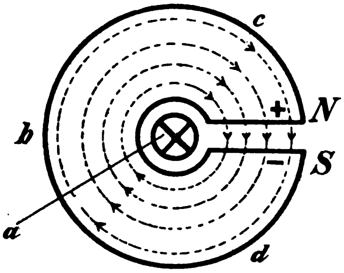

Fig. 11.

Wird der magnetisierende elektrische Leiter *a* (Fig. 10) gerade durch einen Eisenring oder durch ein zentrales Loch in einem Eisenzylinder *b—c—d* hindurch geführt, so wird der von dem elektrischen Leiter induzierte Magnetismus von der Eisenmasse in großer Menge aufgesaugt oder aufgenommen, wenn der Ring einen genügenden Querschnitt hat und die Öffnung oder das Loch, wodurch der elektrische Leiter hindurchgeht, nicht größer ist als gerade notwendig, um den Leiter frei durchzuführen. Wie sich der Magnetismus innerhalb der Eisenmasse des Ringes verteilt, weiß man mit Bestimmtheit nicht; es ist aber wahrscheinlich, daß die magnetische Dichte auch in diesem Falle mit der Entfernung von dem magnetischen Zentrum abnimmt, d. h. man kann sich auch hier konzentrische zylindrische Niveauflächen verschiedenen magnetischen Potentials denken. Wenn der Ring geschlossen ist, bildet er einen Elektromagnet ohne freie Pole: einen sogen. metallisch geschlossenen Elektromagnet oder einen metallisch geschlossenen elektromagnetischen Kreis (vgl. Art. 68). Macht man einen Schnitt quer durch den Ring (Fig. 11), erhält man einen metallisch offenen elektromagnetischen Kreis und, wie die Figur zeigt, freie Magnetpole. Infolge des Schnittes verschwindet der Magnetismus keineswegs, sondern der magnetische Kreis bleibt bestehen, indem der Magnetismus auch den Schnitt ausfüllt und somit zwischen den beiden Polflächen ein magnetisches Feld bildet. Die in Figur 11 gezeigte Elektromagnetform ermöglicht augenscheinlich die Erreichung der größten Ökonomie: das beste magnetische Ergebnis im Verhältnis zu dem aufgewandten Material und dem magnetisierenden Strome. Ohne weiteres ersieht man hieraus, was man bei der Konstruktion von Elektromagneten zu berücksichtigen hat. Es ist natürlicherweise ganz gleichgültig, ob nur einer oder mehrere nebeneinander geschaltete, voneinander isolierte elektrische Leiter (vgl. Fig. 37) durch den Ring gehen und die Magnetisierung oder die Induzierung von Magnetismus ausführen, wenn nur die Stromrichtung und die gesamte Stromstärke dieselben bleiben. In der Praxis muß man stets mehrere voneinander isolierte elektrische Leiter (Windungen) anwenden, um die erforderliche Magnetisierungsstromstärke (d. i. die Summe der Ströme in sämtlichen nebeneinander liegenden Leitern) zu erreichen.

Aus dem im obigen Angeführten erkennt man leicht, daß die Magnetisierung schlechter werden muß, wenn der Abstand zwischen dem magnetisierenden Leiter und dem Material, das man magnetisieren will, vergrößert wird, auch wenn das Magnetmaterial quantitativ unverändert bleibt. Liegt der elektrische Leiter in der geometrischen Achse eines Ringes, dessen innerer Durchmesser verhältnismäßig groß ist (Fig. 12), so wird der ganze induzierte Magnetismus den Ring nicht erreichen; liegt der Leiter an der Seite (Fig. 13), so wird zwar die magnetische Dichte verhältnismäßig groß in dem Teile des Ringes, welcher dem elektrischen Leiter am nächsten liegt, dagegen kleiner in dem Teile des Ringes, welcher an der entgegengesetzten Seite liegt, weil ein Teil des Magnetismus in diesem Falle nur im Inneren des Ringes kreisen kann. Natürlich würde man zu einem weit vorteilhafteren Magnetisierungsresultat kommen, wenn man den in Figur 12 gezeigten, zentral gelegenen elektrischen Leiter in eine größere Anzahl kleinerer Leiter zerlegte, und die kleineren Leiter dann auf die Innenseite des Ringes verteilte, so daß die Magnetisierungsleiter (bezw. die Magnetisierungswindungen) dicht neben dem Magnetmaterial zu liegen kämen.

Bisher haben wir uns nur einen geraden elektrischen Leiter für die elektromagnetische Induktion gedacht, aber offenbar gilt das Gesagte für alle Formen des elektrischen Leiters. Es wurde schon vorher angedeutet, daß ein magnetisches Feld auch dann um den Leiter induziert wird, wenn man aus dem elektrischen Leiter einen einfachen Ring oder ein Solenoid (vgl. Fig. 8) bildet, und daß dieses Feld eine solche Form und Beschaffenheit bekommt, daß es bezüglich seiner Wirkungen mit einem Magnet verglichen werden kann.

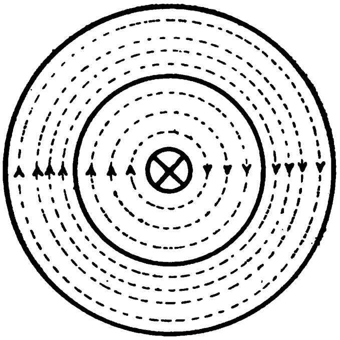

Fig. 12.

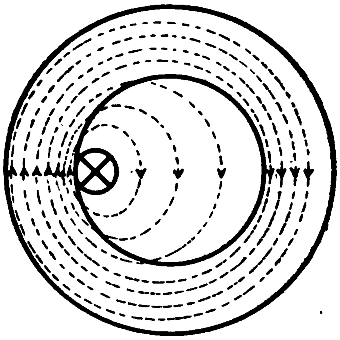

Fig. 13.

Wir haben auch gesehen, daß man auf das Erzeugen, Leiten und Konzentrieren des Magnetismus einwirken kann, wenn man Stoffe von verschiedenen magnetischen Eigenschaften in das magnetische Feld des elektrischen Stromleiters bringt. Hieraus geht hervor, daß das magnetische Feld des Solenoids, sowie die magnetische Dichte innerhalb des Solenoids sich auch ändern muß, wenn verschiedene Stoffe (verschiedene Gase, Flüssigkeiten oder feste Körper) in das Innere des Solenoides eingeführt werden. Je höher der eingeführte Stoff in der magnetischen Serie steht, d. h. je stärker paramagnetisch der Stoff ist, desto mehr sammelt und konzentriert sich der induzierte Magnetismus in dem eingeführten Stoffe, und desto stärker wird die magnetische Dichte und das magnetische Feld. So liefert die Luft eine größere Dichte als Wismut, und Eisen eine größere Dichte als alle übrigen in magnetischer Hinsicht bekannten Stoffe. Der Stoff, welcher sich innerhalb des Solenoids befindet, wird *Magnetkern* genannt, und dieser Kern zusammen mit dem magnetisierenden Solenoid, das in diesem Falle auch *Magnetisierungsspule* oder *Magnetspule* genannt wird, bildet einen *Elektromagnet.*

Daß ein Eisen- oder Stahlstab mit Hilfe eines Solenoids, dessen Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden, magnetisiert werden könnte, wurde schon 1820 von Davy und Arago unabhängig voneinander entdeckt.

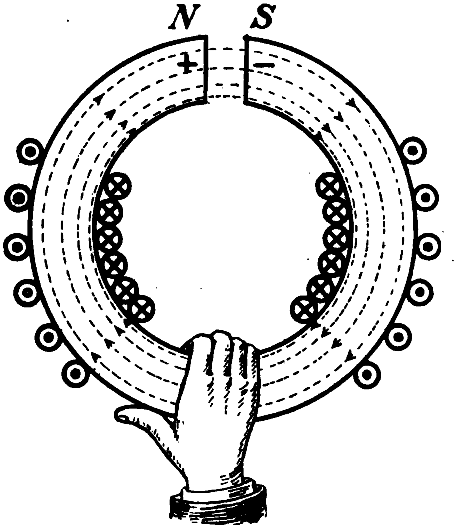

Fig. 14.

Die magnetische Polarität des Kernes eines Elektromagnets oder die Richtung des gedachten magnetischen Stromes ist aus Figur 8 direkt zu ersehen, wenn man die elektrische Polarität des magnetisierenden Leiters oder die angenommene Richtung des magnetisierenden elektrischen Stromes kennt. Hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen der magnetischen Polarität des Magnetkernes bezw. der Richtung des magnetischen Stromes und der Richtung des elektrischen Stromes in der Magnetisierungsspule kann folgende einfache Gedächtnisregel aufgestellt werden: — *Faßt man (Fig. 14) den Magnetkern oder den magnetischen Kreis (den Magnetismusträger, den magnetischen Leiter) mit der rechten Hand so an, daß die vier Finger in der Richtung zeigen, nach welcher der elektrische Strom in den Windungen* *der Magnetisierungsspule fließt, und der Daumen winkelrecht zu den übrigen Fingern steht, so zeigt der Daumen in der Richtung, nach welcher der Nordpol des Magnets liegt oder nach welcher der magnetische Strom geht.*

Figur 14 zeigt den eigentlichen Grundtypus der in der Elektrotechnik (bei den meisten Dynamomaschinen u. s. w.) am häufigsten

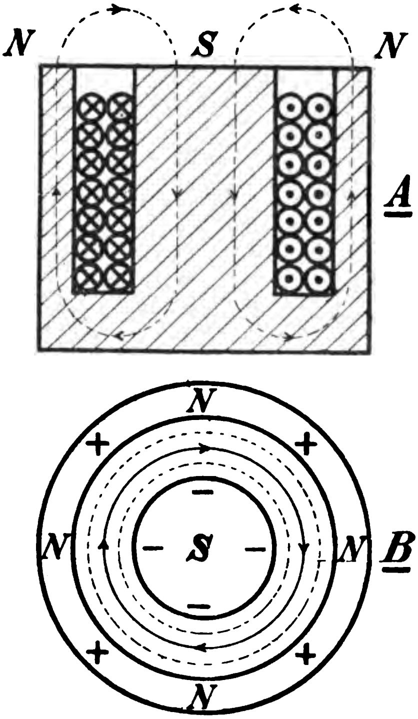

Fig. 15.

vorkommenden Elektromagnete. Was die Anbringungsweise der Magnetspulen oder der magnetisierenden Windungen auf den magnetischen Kreisen anbetrifft, sei erwähnt, daß das magnetische Feld zwischen den Polflächen am stärksten wird, wenn die Windungen gleichmäßig über den ganzen Eisenkern verteilt oder in der Nähe der Enden oder Polflächen aufgewickelt werden, was sich auch aus den Figuren 10, 11, 12 und 13 folgern läßt. Die in

Figur 15 gezeigte Elektromagnetform, Mantelelektromagnet, die besonders bei den Dynamomaschinen von Wenström vorkommt, steht der in Figur 11 angedeuteten Form sehr nahe, nämlich hinsichtlich der Art und Weise, wie der Leiter von dem eigentlichen Magnetmaterial umgeben wird. Eine etwas ähnliche Form von Magneten findet man bei den bekannten Elektromotoren von Lundell.

Die vielen verschiedenen sonst noch vorkommenden Formen von Elektromagneten zu beschreiben, würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Die angeführten Formen dürften dem vorliegenden Zwecke genügen.

Der für die Induktion von Magnetismus erforderliche elektrische Strom muß stets aus irgend einer Elektrizitätsquelle genommen werden, ebenso muß natürlich für das Bilden und Aufrechterhalten des magnetischen Feldes eine gewisse Menge elektrischer Energie aufgewandt werden. Verschwindet der magnetisierende elektrische Strom, so verschwindet auch das magnetische Feld; ändert sich die Stärke des in dem magnetisierenden Leiter kreisenden elektrischen Stromes, so ändert sich auch die Stärke des induzierten magnetischen Feldes. Wechselt die Richtung des elektrischen Stromes *(Wechselstrom)*, so wechselt auch die Polarität des magnetischen Feldes.

Es sei an dieser Stelle zum Vergleich erwähnt, daß man für das Herstellen sogen. permanenter Magnete (Magnetisierung von speziell geformten Stahlstückchen — gewöhnlich durch *magnetomagnetische* Induktion) auch eine bestimmte, dem Falle entsprechende Menge Energie aufwenden muß, welche hierbei in Form von potentieller magnetischer Energie in dem Magnetmaterial aufgespeichert oder zurückbehalten wird und welche mit dem Aufhören der Magnetisierung nicht verschwindet. Permanent im strengsten Sinne des Wortes ist jedoch kein Magnet, denn läßt man den Magnetismus von den Polen des Magnets sich frei ausbreiten, oder läßt man die Kraft des Magnets auf irgend eine Weise Arbeit verrichten oder äußere Wirkungen verursachen, so wird die aufgespeicherte Energie verbraucht, und der Magnet verliert nach und nach seinen Magnetismus. Alles dies ist natürlich nichts anderes als eine Umwandlung von Energie.

Aus dem Vorhergehenden läßt sich folgern, daß Magnetismus induziert oder erzeugt wird in der Umgebung jedes beliebigen Leiters, in welchem ein elektrischer Strom kreist; und hieraus folgt, daß Magnetismus und magnetisches Feld überall, wo ein elektrischer

Strom besteht, erzeugt wird. Magnetismus wird aber nicht nur durch diejenige Elektrizität erzeugt, die man unter dem Begriffe *dynamische Elektrizität*, in einem Leiter oder einen Leiter entlang strömende Elektrizität (z. B. die Elektrizität in einem festen Leiter, welcher die zwei Pole einer Elektrizitätsquelle vereinigt), versteht, sondern auch durch diejenige Elektrizität, die man *statische Elektrizität*, eine Elektrizitätsladung auf einem isolierten Körper, nennt, denn Magnetismus wird auch dann erzeugt, falls die statische Elektrizität mit ihrem zufälligen Träger in Bewegung gesetzt wird, wenn auch in weit kleinerem Maße zufolge der so sehr verschiedenen elektrischen Bewegungs- und Mengenverhältnisse. Man würde deshalb mit ziemlich großer Bestimmtheit sagen können: überall, wo Elektrizität in irgend einem dynamischen Zustande vorhanden ist, wird Magnetismus erzeugt, oder ein magnetischer Zustand in der Umgebung der bewegten Elektrizität herbeigeführt.

Es scheint, als ob die elektrischen und magnetischen Erscheinungen stets in einem bestimmten Zusammenhang vorkommen, wenn man auch nicht immer mit den üblichen Mitteln den genauen Zusammenhang feststellen kann. Allem Anschein nach dürfte man als allgemeine Regel annehmen können, daß Elektrizität in dynamischem Zustande alle Stoffe, an denen sie sich vorbeibewegt, in einen magnetischen Zustand versetzt, und daß Magnetismus in dynamischem Zustande alle Stoffe, an denen er sich vorbeibewegt, in einen elektrischen Zustand versetzt.

B. Magnetoelektrische Induktion.

Unter der Rubrik *elektromagnetische Induktion* wurde gezeigt, wie man mit Hilfe von Elektrizität Magnetismus erzeugt, und im folgenden soll gezeigt werden, wie man mit Hilfe von Magnetismus Elektrizität induzieren oder erzeugen kann.

Schon im Jahre 1831 entdeckte *Faraday,* der größte und praktischste Forscher der Vergangenheit auf dem elektro- und magneto-technischen Gebiete, daß ein elektrischer Strom in einer *geschlossenen* Leitung (z. B. in einer Schleife oder einem Ring von Kupferdraht, der dadurch geschlossen wird, daß seine Enden mit den Polklemmen eines Galvanometers vereinigt werden) induziert wird, wenn ein Magnetpol an irgend einem Teile der Leitung vorbei oder, umgekehrt, wenn die Leitung quer durch das Feld des Magnets bewegt wird.

Eine solche metallisch geschlossene Leitung wird gewöhnlich ein geschlossener *elektrischer Stromkreis* genannt, und denjenigen Teil des Stromkreises, welcher innerhalb des magnetischen Feldes liegt, und in welchem die Elektrizität eigentlich induziert oder erzeugt wird, nennt man den *inneren* Teil des Stromkreises oder den elektrischen Leiter der magnetoelektrischen Stromquelle, und denjenigen Teil, mit welchem der elektrische Stromkreis eigentlich geschlossen, oder mit welchem die induzierte Elektrizität von der Elektrizitätsquelle fortgeleitet wird, nennt man den *äußeren* Teil des Stromkreises oder die Schließungsleitung.

Ist der elektrische Stromkreis dagegen nicht geschlossen, sondern offen (d. h. kein metallischer Schluß vorhanden), während der elektrische Leiter quer durch das magnetische Feld oder seitlich durch einen magnetischen Querschnitt hindurch bewegt wird, oder, umgekehrt, während der Magnetpol an dem Leiter vorbei bewegt wird oder der magnetische Querschnitt den Leiter in dessen Seitenrichtung passiert, so entsteht zwar keine dynamische Elektrizität, kein elektrischer Strom, aber der Leiter wird in einen elektrischen Zustand versetzt, er wird sozusagen elektrisiert und erhält eine gewisse, den Verhältnissen entsprechende elektrische Ladung, welche polarisiert wird, so daß elektrische Pole entgegengesetzter Polarität entstehen und eine elektrische Spannung (ein elektrischer Druck) sich zwischen den Enden des Leiters zeigt. Die erwähnte Ladung kann als potentielle elektrische Energie aufgefaßt werden, die eine gewisse innewohnende Kraft (elektromotorische Kraft) besitzt, welche bestrebt ist, die induzierte Elektrizität in Bewegung zu setzen. Der Leiter mit seiner polarisierten elektrischen Ladung kann mit einem Magnet insofern verglichen werden, als er, wie dieser, an jedem Ende Pole und in der Mitte eine neutrale Stelle hat. Wenn die beiden Enden des elektrischen Leiters, die elektrischen Pole der Stromquelle, mittels einer äußeren Leitung, einer Schließungsleitung, elektrisch leitend vereinigt werden, so setzt sich die Elektrizität von den beiden Polen aus in Bewegung und geht so in kinetische elektrische Energie (elektrischen Strom) über. Wird die Bewegung des Leiters in dem magnetischen Feld in erwähnter Weise fortgesetzt, so dauert auch die Induktion von Elektrizität fort, und man hat es in dem elektrischen Kreise unzweifelhaft mit dynamischer Elektrizität zu tun, wenngleich diese nicht als ein Strom aufgefaßt werden darf, der an dem positiven Pole der Elektrizitätsquelle herauskommt und an dem negativen Pole wieder hineingeht, oder als Elektrizität, die sich in nur einer Richtung bewegt, wie man anzunehmen pflegt, um gewisse Erscheinungen bequemer beschreiben zu können, wie wir es unter elektromagnetischer Induktion gesehen haben. Je größer die elektrische Aufnahme- und Leitfähigkeit des elektrischen Stromkreises oder je kleiner dessen Leitungswiderstand ist, desto mehr Elektrizität wird induziert, oder desto größer wird die Stärke oder Intensität des elektrischen Stromes.

Ebenso wie die Stoffe verschiedene Fähigkeit besitzen, Magnetismus aufzunehmen und zu leiten, zeigen sie auch verschiedene Fähigkeit, Elektrizität aufzunehmen und zu leiten. Gleichwie magnetische Leitfähigkeit und magnetischer Leitwiderstand nur reziproke Begriffe sind, bilden elektrische Leitfähigkeit und elektrischer Widerstand auch reziproke Begriffe. Die Stoffe, welche die kleinste Leitfähigkeit oder den größten Leitungswiderstand besitzen, werden im allgemeinen Isolatoren genannt. Mit Rücksicht auf die verschiedene elektrische Leitfähigkeit der Stoffe können sie in eine sogen. *elektrische Serie* geordnet werden. Werden die Stoffe, welche die größte Leitfähigkeit haben, voran, und diejenigen, welche die kleinste Leitfähigkeit besitzen, zuletzt gestellt, so würden die folgenden Stoffe ungefähr in der angegebenen Reihenfolge kommen:

Silber,
Kupfer,
Gold,
Aluminium,
Zink,
Platin,
Eisen,
Stahl,
Nickel,
Zinn,
Blei,
Antimon,
Quecksilber,
Wismut,
Kohle (verschiedener Art),
Wasser,
Trocknes Holz (verschiedener Art),
Stein (verschiedener Art),
Vulkanfiber,
Baumwolle,
Papier,
Öle,
Porzellan,
Wolle,
Seide,
Harz,
Glimmer,
Guttapercha,
Kautschuk,
Schellack,
Parafin,
Glas,
Trockene Luft.

Gleichwie man elektromagnetische Induktion mittels Elektrizität in dynamischem Zustande und eines Magnetismus aufnehmenden oder leitenden Körpers, eines Magnetismusträgers oder magnetischen Leiters, erzielen kann, so kann man auch magnetoelektrische Induktion mittels Magnetismus in dynamischem Zustande (Nicht mit dem zu verwechseln, was man magnetischen Strom nennt!) und eines Elektrizität aufnehmenden oder leitenden Körpers, eines Elektrizitätsträgers oder elektrischen Leiters, erzielen. Noch allgemeiner würde man sagen können: bei der elektromagnetischen Induktion oder bei der Induktion von Magnetismus in einem Stoffe, d. i. bei der Magnetisierung eines Stoffes, ist Elektrizität und relative Bewegung zwischen dem Stoffe (dem magnetischen Leiter) und der Elektrizität nötig, und bei der magnetoelektrischen Induktion oder bei der Induktion von Elektrizität in einem Leiter ist Magnetismus und relative Bewegung zwischen dem elektrischen Leiter und dem Magnetismus nötig. Hierbei darf jedoch nicht vergessen werden, einesteils, daß der Unterschied in der quantitativen magnetischen und elektrischen Aufnahmefähigkeit der Stoffe sehr groß ist, andernteils, daß die Bewegungsverhältnisse, die Geschwindigkeit u. s. w. der Elektrizität von denen des Magnetismus sehr verschieden sind. Das ist die Ursache, weshalb man bei der Induktion von Magnetismus in einem Stoffe stets dem Stoffe eine feste Lage gibt und dynamische Elektrizität, elektrischen Strom, benutzt, wogegen man bei der Induktion von Elektrizität in einem Leiter bald einen beweglichen elektrischen Leiter und ein stillstehendes magnetisches Feld, bald ein bewegliches Feld und einen stillstehenden elektrischen Leiter benutzt. Der bei der magnetoelektrischen Induktion erforderliche dynamische Magnetismus wird für praktische Zwecke hauptsächlich durch das Bewegen des magnetischen Kreises und Feldes erzeugt.

Nach den oben erwähnten allgemeinen Betrachtungen über die magnetoelektrische Induktion wollen wir im folgenden die Bedingungen für diese Induktion etwas eingehender erörtern.

Elektrizität bezw. elektromotorische Kraft kann in einem Leiter nur dann induziert werden, wenn der Leiter mittels irgend einer seitlichen Bewegung einen äquipolaren magnetischen Querschnitt passiert oder bestreicht, oder, was dasselbe ist, wenn der Leiter mittels irgend einer seitlichen Bewegung durch einen magnetischen Kreis quer hindurch geht oder einen solchen Kreis durchschneidet. Denkt man sich ein aëromagnetisches Feld, das aus einem ebenen magnetischen Pole entspringt, von welchem der Magnetismus in normaler (winkelrechter) Richtung und mit überall gleichförmiger Dichte ausgeht und sich auch nachher in gleicher Weise durch den ganzen Bereich, in welchem die Bewegung des Leiters in Betracht kommt, fortsetzt, so kann man auch sagen: elektromotorische Kraft kann in einem Leiter nicht induziert werden, wenn der Leiter nur in seiner Längsrichtung an irgend einer Stelle durch das magnetische Feld hindurchgeführt oder in solcher Richtung in dem Felde hin und her bewegt wird, und auch nicht, wenn der Leiter in einer zur Polfläche winkelrechten Ebene bewegt wird, gleichgültig, welche Richtung und Stellung er dabei hat; elektromotorische Kraft kann hingegen immer induziert werden, wenn der Leiter in irgend einer anderen Richtung oder Stellung als die hier angeführten in dem Felde bewegt wird. — Es ist schon vorher gesagt worden, daß es ganz einerlei ist, ob der elektrische Leiter oder das magnetische Feld bewegt wird.

In Betreff der Polarität der im Leiter induzierten Elektrizität oder der angenommenen Richtung des elektrischen Stromes sind diese von der Richtung abhängig, in der der elektrische Leiter den magnetischen Querschnitt passiert oder in der er den magnetischen Kreis durchschneidet. Durch folgende einfache Gedächtnisregel kann die elektrische Polarität und die elektrische Stromrichtung leicht ermittelt werden: — *Hält man (Fig. 16) die linke Hand in dem magnetischen Felde so ausgestreckt, daß die fünf Finger in derselben Ebene liegen, aber daß der Daumen winkelrecht zu den übrigen Fingern steht und parallel zu dem elektrischen Leiter liegt, und zeigt dabei die Innenseite der Hand gegen den Nordpol des Magnets oder im allgemeinen in der Richtung, von welcher der Magnetismus kommt (angenommen vom Nordpol zum Südpol), und zeigen die vier Finger in der Richtung, nach welcher der elektrische Leiter in Folge einer äußeren Kraft (wie bei Elektrogeneratoren) bewegt wird, so zeigt der Daumen in der Richtung, nach welcher der positive Pol des elektrischen Leiters liegt, oder nach welcher der elektrische Strom geht, wenn der elektrische Stromkreis geschlossen ist.*

Es sei auch hier darauf hingewiesen, daß diese Gedächtnisregel ebenfalls benutzt werden kann, wenn man, umgekehrt, die Bewegungsrichtung der inneren Kraft (wie bei Elektromotoren) ermitteln will, nämlich die Richtung, nach welcher der elektrische Leiter sich selbst in Bewegung setzen würde, falls ihm von einer äußeren Quelle elektrischer Strom zugeführt würde, indem man die rechte Hand anstatt der linken benutzt: *Geht dabei der elektrische Strom in der Richtung, nach welcher der Daumen zeigt, so bewegt sich der Leiter in der Richtung, nach welcher die vier Finger zeigen.*

Für den Fall, daß die magnetische Polfläche nicht von positiver Polarität ist, sondern von negativer, d. i. ein Südpol, erhält man natürlich im ersten Falle (mit der linken Hand) eine entgegengesetzte elektrische Polarität oder Stromrichtung und im letzten Falle (mit der rechten Hand) eine entgegengesetzte Bewegungs- oder Kraftrichtung.

Es gibt aber auch verschiedene andere Gedächtnisregeln, mit deren Hilfe die angenommene Richtung des elektrischen Stromes gefunden werden kann, und wir lassen der Vollständigkeit halber noch zwei hier folgen.

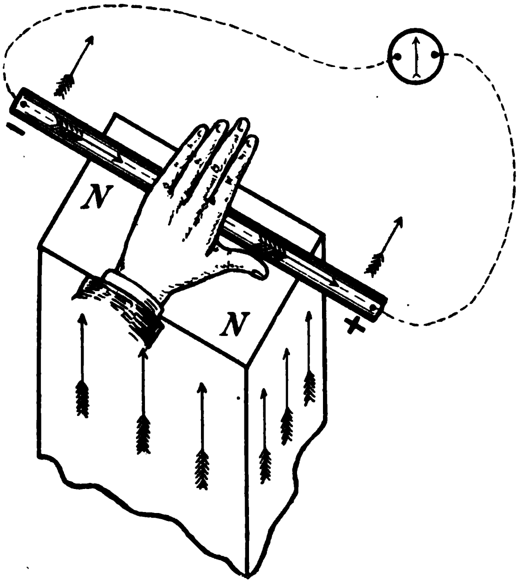

Fig. 16.

So erhält man für die Stromrichtung nach dem Vorbilde der *Ampèreschen* Schwimmregel die Regel: — *Denkt man sich in dem magnetischen Felde in der Bewegungsrichtung des Magnetismus (also vom Nordpol zum Südpol) schwimmend und dabei in der Richtung blickend, nach welcher der elektrische Leiter quer durch das magnetische Feld geführt wird, so gibt bei seitwärts ausgestreckten Armen die rechte Hand die Richtung des elektrischen Stromes an.*

Eine andere Regel ist die von Fleming; sie lautet: — *Streckt man den Daumen, Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand so aus, daß diese drei Finger rechtwinkelig zu einander stehen, und hält man den Daumen in der Bewegungsrichtung des elektrischen Leiters und den Zeigefinger in der Richtung des magnetischen Feldes (also in der Richtung, nach welcher der Magnetismus vermeintlich geht), so zeigt der Mittelfinger in der Richtung, nach welcher der elektrische Strom geht.*

Um die vorhin erwähnten Bedingungen für magnetoelektrische Induktion besser zu verstehen, denke man sich zunächst ein konstantes magnetisches Feld von der Beschaffenheit, wie es in der Luft um einen Elektrizität führenden Leiter entsteht, und von der willkürlichen Ausdehnung, welche *a—b—c—d* (Fig. 17 *A*) andeutet, aber den magnetisierenden Leiter in der geometrischen Achse des Feldes *e—f* (Fig. 17 *B*) fortgenommen (was natürlich in Wirklichkeit unausführbar ist, da ein solches Feld nur um einen Leiter, der Elektrizität führt, gebildet werden kann) und an dessen Stelle einen beliebigen elektrischen Leiter *g—h* eingeführt, einen Leiter, der nicht in Verbindung mit irgend einer äußeren Elektrizitätsquelle steht, aber der mittels einer außerhalb des Feldes gelegenen Leitung *g—k—l—h* geschlossen wird. In dieser Leitung denke man sich einen Galvanometer *i* angebracht, der Ausschlag geben kann, sobald ein elektrischer Strom den Stromkreis durchfließt. Man nehme an, daß der Magnetismus rings um den Leiter in der Richtung kreist, nach welcher die Pfeile in Figur 17 *A* weisen. Figur 17 *B* zeigt das magnetische Feld im Schnitt, wobei zwei aëromagnetische Querschnitte *a—m—o—p* und *b—n—r—q* von entgegengesetzter Polarität entstehen. Die magnetische Polarität bezw. die Richtung des vermeintlichen magnetischen Stromes ist nach derselben Methode angegeben, wie die Polarität bezw. die angenommene Richtung des elektrischen Stromes bei Querschnittszeichnungen elektrischer Leiter angegeben wird: die punktierte Fläche stellt demnach einen magnetischen Nordpol und die mit Kreuzen versehene Fläche einen Südpol vor, also magnetische Querschnitte von verschiedener Polarität. Eine ebenfalls geeignete Weise, bei Zeichnungen die magnetische Polarität zu bezeichnen, ist die, daß man die Polflächen bezw. die magnetischen Querschnitte verschieden schraffiert (siehe z. B. Fig. 19 und 20). Wenn der magnetische Bereich *a—b—c—d* (Fig. 17 *A*) als ein magnetischer Kreis betrachtet wird, sind die Feldflächen *a—m—o—p* und *b—n—r—q* (Fig. 17 *B*) als magnetische Schnitte quer durch diesen Kreis anzusehen. — Wird nun der Leiter nach außen in einer beliebigen Ebene in seitliche Bewegung versetzt, so bestreicht er dabei einen radialen äquipolaren Querschnitt, und infolgedessen wird Elektrizität bezw. elektromotorische Kraft in dem Leiter induziert, und, falls der Stromkreis geschlossen ist, wird auch ein elektrischer Strom erzeugt. Der Leiter wird hierbei so polarisiert, daß sich ein positiver Pol an dem Ende *h* und ein negativer am Ende *g* bildet, wodurch, wenn der Stromkreis geschlossen ist, ein elektrischer Strom in der Richtung entsteht, nach welcher die Pfeile in der Figur zeigen.

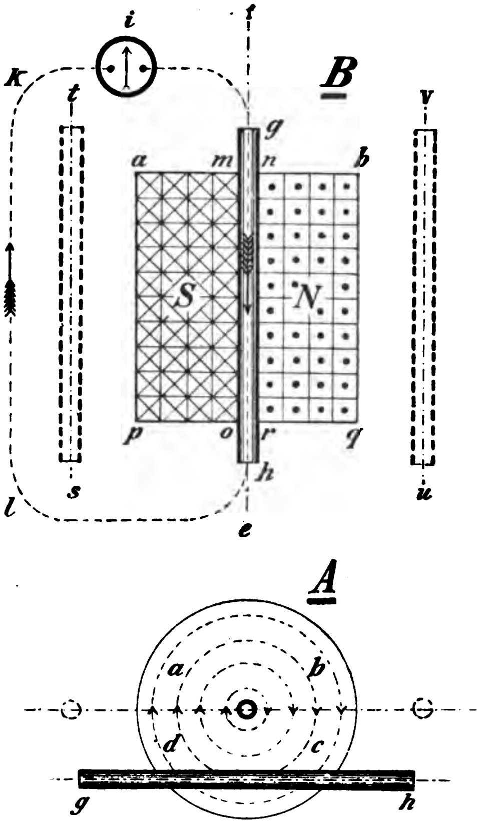

Fig. 17.

Wird der Leiter so weit nach außen geführt, daß er sich außerhalb des hier als begrenzt gedachten magnetischen Feldes bewegt, so hört die Induktion auf. Ist die Bewegung des Leiters gleichförmig, so wird offenbar die Induktion nach und nach abnehmen, wenn der Leiter sich von der Achse *e*—*f* entfernt, weil das magnetische Feld immer dünner wird, je weiter man nach außen kommt, und schließlich so schwach, daß es keine merkbare Induktion mehr hervorzubringen vermag. Befindet sich der Leiter anfänglich außerhalb des magnetischen Feldes, z. B. in der Lage *s*—*t* oder *u*—*v*, und wird von da aus nach innen in einer radialen Ebene, d. i. nach der Achse *e*—*f* zu, in Bewegung gesetzt, so wird wieder Elektrizität in dem Leiter erzeugt, aber jetzt von entgegengesetzter Polarität. Will man den Leiter quer durch den ganzen magnetischen Bereich führen, d. h. läßt man den Leiter eine ganze diametrale Ebene, *a*—*p*—*q*—*b*, passieren, z. B. von der Lage *s*—*t* nach der Lage *u*—*v*, so würde er zwei magnetische Querschnitte von verschiedener Polarität nacheinander bestreichen, und würde deshalb der elektrische Strom während des halben Weges, d. i. von der Lage *s*—*t* nach der Lage *e*—*f*, gegen die Richtung der Pfeile gehen, aber in der Lage *e*—*f* seine Richtung wechseln, um nachher während der anderen Hälfte des Weges, d. i. von der Lage *e*—*f* nach der Lage *u*—*v*, in der Richtung der Pfeile zu gehen. Wird der Leiter hingegen in winkelrechter Stellung zu der vorerwähnten gedreht und dann in seiner Seitenrichtung in irgend einer Ebene innerhalb des magnetischen Bereiches auf solche Weise geführt, daß er gleichzeitig zwei magnetische Querschnitte von verschiedener Polarität, aber von gleicher geometrischer Größe und gleicher magnetischer Dichte bestreicht, z. B. abwärts oder aufwärts in einer zu der Achse *e*—*f* parallelen Ebene, wie *g*—*h* in Figur 17 *A* andeutet, so sucht zwar der Magnetismus der beiden Querschnitte, elektromotorische Kräfte in dem Leiter hervorzubringen, aber auf Grund der entgegengesetzten Polarität der gleich großen magnetischen Querschnitte (Eigentlich hat man hier nur mit *einem* Feldquerschnitte zu tun, aber dieser ist inäquipolar!) und der gleichen Magnetismusstärke arbeiten diese Kräfte einander entgegen und heben einander auf, wodurch das Entstehen eines elektrischen Stromes verhindert wird. Anders wird das Ergebnis sein, sobald der Leiter in seiner Seitenrichtung in irgend einem äquipolaren Querschnitt im Felde geführt wird, z. B. aufwärts oder abwärts in dem Schnitte *a*—*m*

—*o*—*p* oder in dem Schnitte *b*—*n*—*r*—*q*; dann entsteht natürlich ein elektrischer Strom. Aus den Bedingungen für magnetoelektrische Induktion geht hervor, daß es für die Induktion von Elektrizität und elektromotorischer Kraft in dem Leiter *g*—*h* keineswegs notwendig ist, daß dieser in der einen oder der anderen von den eben angeführten zwei Stellungen auf angegebene Weise in dem magnetischen Felde bewegt wird, sondern der Leiter braucht während seiner Bewegung nur eine solche Stellung zu haben, daß er bei irgend einer seitlichen Bewegung einen äquipolaren Querschnitt wirklich bestreicht oder einen magnetischen Kreis ganz oder zum Teil durchschneidet. Dagegen kann keine Induktion von Elektrizität und elektromotorischer Kraft zustande kommen, wenn der Leiter in seiner Längsrichtung an irgend einer Stelle in das magnetische Feld hinein oder hindurch geführt wird, und auch nicht, wenn der Leiter in irgend einem Abstande von der zentralen Achse *e*—*f* in einer beliebigen Richtung eingestellt und dann in unveränderter Stellung zu der Achse *e*—*f* um diese in Rotation gesetzt wird. Der letzte Fall ist mit dem analog, in welchem sich ein Leiter in einer Ebene bewegt, die winkelrecht zu einer ebenen Polfläche steht, von welcher der Magnetismus in normaler Richtung und mit gleichförmiger Dichte ausgeht und dann so den ganzen Bereich, worin man die Bewegung des Leiters betrachten will, durchsetzt.

Denken wir uns nun anstatt des soeben beschriebenen magnetischen Kreises, der nur aus magnetisierter Luft bestand, einen Ring oder Hohlzylinder von Eisen (Fig. 18), in welchem zwei diametrale Ausschnitte zwecks Bildung zwei aëromagnetischer Felder zwischen metallischen Polflächen gemacht sind, so kann das im obigen von Figur 17 Gesagte fast unmittelbar auf Figur 18 angewandt werden. Man braucht bloß zu berücksichtigen, daß der Magnetismus in diesem Falle hauptsächlich in dem Eisenringe und in den zwischen den Polflächen befindlichen zwei Feldern konzentriert ist, und daß er sowohl im Eisen, als auch in den Feldern eine gleichförmigere Dichte hat als in dem vorigen Falle. Wenn die Polflächen nicht zu weit auseinander liegen, kann man annehmen, daß der Magnetismus von den ebenen und parallelen Polflächen in normaler Richtung ausgeht, und daß die Magnetismusfigur an den Ausschnitten von den Umrissen der Polflächen, praktisch genommen, begrenzt wird. Wird der Leiter *g*—*h* in seiner Seitenrichtung durch das eine oder das andere der zwei magnetischen Felder hindurchgeführt, so tritt Induktion und elektrische Polarisierung ein, genau wie in dem vorerwähnten Falle. Die Induktions- und Polarisierungserscheinungen, welche im Leiter g—h stattfinden würden, wenn man diesen quer durch den ganzen Ring führte, d. i. successiv durch die beiden magnetischen Felder, vergleiche man mit den entsprechenden Erscheinungen, die sich zeigen, wenn ein Leiter um eine feste Achse, wie Figur 27 angibt, in einem aëromagnetischen Felde zwischen zwei magnetischen Polen rotiert. In Figur 27 zeigt die Kurve E, wie sich der Wert der elektromotorischen Kraft nach dem sogen. Sinusgesetz ändert.

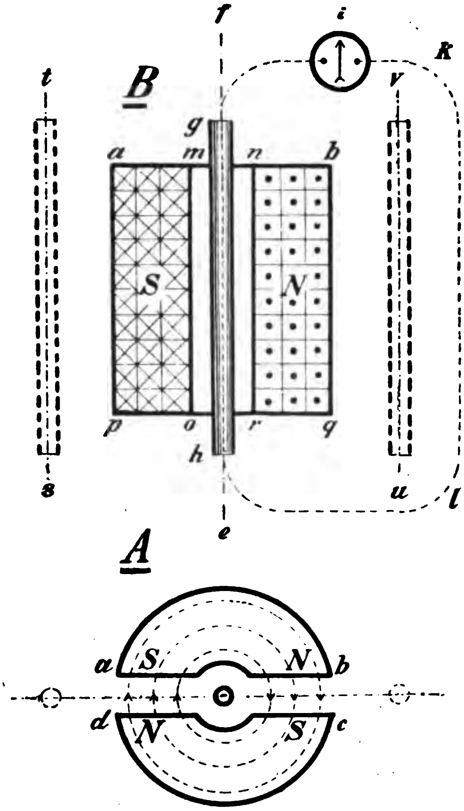

Fig. 18.

Auf Grund der Auseinandersetzungen im vorhergehenden ist nun ohne weiteres zu erkennen, daß Elektrizität und elektromotorische Kraft in einem beweglichen Leiter *b*—*b* (Fig. 19 und 20) induziert werden, wenn dieser einem festen Leiter *a*—*a*, der in Verbindung mit einer äußeren Elektrizitätsquelle steht und somit in seiner Umgebung ein magnetisches Feld von der angenommenen Ausdehnung *c*—*f*—*d*—*e* erzeugt, genähert oder entfernt wird, weil der Leiter *b*—*b* dabei einen magnetischen Querschnitt bestimmter magnetischer Polarität bestreicht. Die Polarität des Magnetismus in einem Querschnitte des magnetischen Kreises ist natürlich abhängig von der Polarität der magnetisierenden Elektrizität oder von der Richtung des induzierenden elektrischen Stromes in dem (*primären*) elektrischen Stromkreis, zu welchem der Leiter *a*—*a* gehört. Die elektrische Polarität in dem Leiter *b*—*b* oder die Richtung des induzierten elektrischen Stromes in dem (*sekundären*) elektrischen Stromkreis, zu welchem der Leiter *b*—*b* gehört, kann mit Hilfe der bereits angeführten Gedächtnisregeln bestimmt werden (vgl.

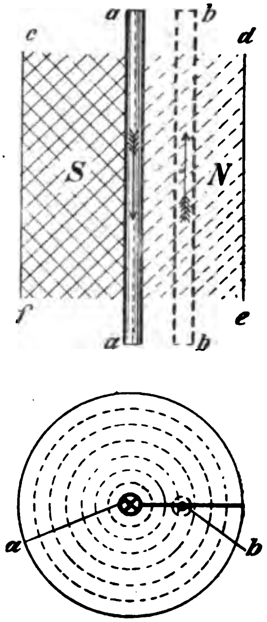

Fig. 19.

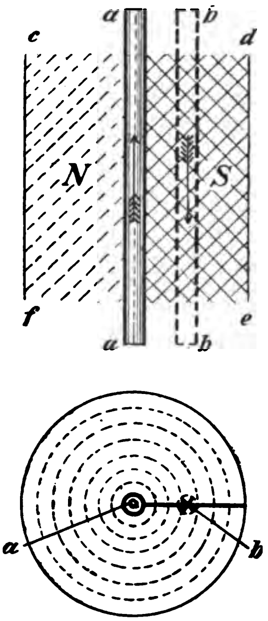

Fig. 20.

Fig. 16). Hieraus geht hervor, daß die Richtung des in dem sekundären Stromkreise induzierten Stromes so wird, wie der Pfeil im Leiter *b*—*b* zeigt, falls der elektrische Strom in dem primären Stromkreise in der Richtung geht, nach welcher der Pfeil im Leiter *a*—*a* zeigt, wenn der Leiter *b*—*b* auf den festen Leiter *a*—*a* zu bewegt wird (Fig. 19 und 20), wogegen der induzierte Strom von entgegengesetzter Richtung wird, also gegen die Pfeilrichtung in *b*—*b*, wenn der bewegliche Leiter von dem festen Leiter weg bewegt wird. Es ist offenbar nicht notwendig, daß der eine Leiter fest und der andere beweglich ist; es ist nur relative Bewegung zwischen den beiden Leitern nötig. Beide Leiter können also in Bewegung sein, und es geht ohne weiteres hervor, daß die Richtung des sekundären oder induzierten Stromes zu der des primären Stromes entgegengesetzt ist, wenn die beiden Leiter gegeneinander geführt werden, aber daß die beiden Ströme von gleicher Richtung sind, wenn die Leiter auseinander geführt werden. Es ist auch nicht notwendig, daß die Leiter parallel sind; der Leiter *b*—*b* braucht nur eine solche Lage in dem Felde zu haben, daß die Bedingungen für magnetoelektrische Induktion erfüllt werden. Das beste Ergebnis wird jedoch mit parallelen Leitern erreicht.

Unter elektromagnetischer Induktion wurde hervorgehoben, daß Änderungen in der Stärke des magnetisierenden Stromes den Magnetismus oder das den Leiter umgebende magnetische Feld in dynamischen Zustand versetzen, bestehend aus radialen Bewegungen um den ganzen Elektrizität führenden Leiter. Hieraus folgt, daß es auch möglich ist, Elektrizität und elektromotorische Kraft in einem Leiter zu induzieren, der sich in fester Lage in der Nähe eines anderen ebenfalls festen Leiters befindet, in welchem entweder ein stark pulsierender Gleichstrom, oder auch ein Polarität wechselnder Strom (*Wechselstrom*) geht. Sind *a*—*a* und *b*—*b* (Fig. 19 und 20) zwei solche nebeneinander liegende, im Verhältnis zu einander unbewegliche Leiter, von denen der erste dem primären und der letzte dem sekundären Stromkreis angehört, so findet man, wenn man die Figuren näher betrachtet, daß jede Zu- oder Abnahme in der um den Leiter *a*—*a* aufgespeicherten magnetischen Energie radiale Bewegungen (hin und zurück) von Magnetismus darstellt, und daß der Magnetismus infolgedessen den Leiter *b*—*b* in einer radialen Ebene passieren und somit Elektrizität und elektromotorische Kraft in dem Leiter induzieren muß. Das beste

Induktionsergebnis wird sichtbarlich auch in diesem Falle erreicht, wenn die Leiter parallel sind und dicht nebeneinander liegen, aber Elektrizität bezw. elektromotorische Kraft kann selbstverständlich in dem Leiter *b*—*b* auch dann induziert werden, wenn dieser andere Stellungen im Verhältnis zu dem induzierenden Leiter *a*—*a* hat; er braucht bloß eine solche Lage in dem magnetischen Felde zu besitzen, daß die Induktionsbedingungen erfüllt werden. Was die elektrische Polarität, die Richtung des elektrischen Stromes anbelangt, so kann sie auch hier mittels einer der angeführten Gedächtnisregeln, die zu dem Ermitteln der elektrischen Polarität (vgl. Fig. 16) dienen, gefunden werden. Mit Hilfe derselben wird man dann finden, daß der in dem sekundären Stromkreise, zu welchem der Leiter *b*—*b* (vgl. Fig. 19 und 20) gehört, induzierte Strom in der Richtung des Pfeiles geht, wenn der primäre elektrische Strom im Leiter *a*—*a* auch in der Richtung des Pfeiles geht und die Stärke des primären Stromes in Zunahme begriffen ist, d. h. wenn die Menge der magnetischen Energie um den Leiter *a*—*a* zunimmt oder einen größeren Raum annimmt. Wird die Stromstärke im Leiter *a*—*a* konstant, so hört der dynamisch elektrische Zustand in dem Leiter *b*—*b* auf, er wird, wie man gewöhnlich sagt, stromlos; nimmt aber die Stromstärke in dem Leiter *a*—*a* ab (Die Stromrichtung unverändert!), so vermindert sich auch die Menge der um diesen Leiter angesammelten magnetischen Energie, da sich der Magnetismus nun in radiale Bewegung nach innen setzt, und wird in dem sekundären Stromkreise ein elektrischer Strom induziert, dessen Richtung entgegengesetzt zu derjenigen ist, die der Pfeil angibt. Bei pulsierendem elektrischem Strome gleicher Polarität oder Richtung (pulsierendem Gleichstrome) in dem primären Stromkreise ist also die Stromrichtung in den Leitern *a*—*a* und *b*—*b* entgegengesetzt, wenn die Stärke des primären Stromes im Zunehmen begriffen ist, wogegen der sekundäre Strom in derselben Richtung geht wie der primäre Strom, wenn die Stärke des letzteren abnimmt. Bei pulsierendem elektrischem Strome von wechselnder Polarität (Wechselstrome) wechselt auch die magnetische Polarität, was zu ersehen ist, wenn man die Figuren 19 und 20 miteinander vergleicht.

Es wurde im obigen zu verschiedenen Malen hervorgehoben, daß das beste Induktionsergebnis erreicht wird, wenn die Leiter parallel sind und einander so nahe wie möglich liegen; aber die Leiter brauchen dabei keineswegs gerade zu sein, wie die Figuren zeigen, sondern können neben- oder übereinander (in Form eines Ringes, Solenoids u. s. w.) gewickelt werden.

Da der Magnetismus, der sich um einen Elektrizität führenden Leiter befindet, bei Änderungen in der Stärke des elektrischen Stromes nicht nur in *einer* radialen Richtung, sondern *überall* um den Leiter in dynamischen Zustand mit radialen Bewegungen versetzt wird, kann offenbar ein einziger primärer Strom, der Strom in einem einzigen primären Leiter, in welchem die Stärke und eventuell auch die Polarität des Stromes geändert wird, in mehreren innerhalb des magnetischen Feldes des primären Leiters gelegenen sekundären Leitern sekundäre Ströme induzieren. Wenn *a* (Fig. 21) einen primären Leiter darstellt, der entweder von stark pulsierendem Gleichstrom, oder auch vom Wechselstrom durchflossen

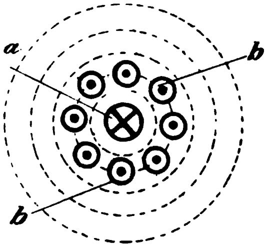

Fig. 21.

wird, und *b* eine Anzahl sekundärer Leiter darstellen, die in gleichem Abstande von dem primären Leiter gelegen und alle von gleicher Länge und Beschaffenheit sind, so wird eine gleiche Menge Elektrizität oder eine gleich große elektromotorische Kraft in jedem der sekundären Leiter erzeugt, da jeder derselben infolge der symmetrischen Lage der Leiter von einer gleichen Menge Magnetismus in gleicher Zeit passiert wird. Je enger die sekundären Leiter den primären Leiter umschließen, desto besser wird das Induktionsergebnis, weil dann, wie ersichtlich, mehr Magnetismus die sekundären Leiter passieren muß. Anstatt eines einzigen primären Leiters kann man natürlich mehrere in Verbindung anwenden. Sowohl die primären als auch die sekundären Leiter können entweder nebeneinander oder hintereinander vereinigt (geschaltet) werden, je nachdem man elektrische Energie von niedriger oder hoher elektrischer Spannung benutzen oder erzeugen will. Bei der Gruppierung und Anordnung der sekundären Leiter im Verhältnis zu den primären und bei der Schaltung der Leiter ist zu berücksichtigen, daß keine entgegenwirkende elektromotorische Kräfte induziert werden und auf das gewünschte Ergebnis schädlich einwirken. Wie dies zu verhindern ist, läßt sich aus dem im vorigen Gesagten leicht erkennen.

Als wir von elektromagnetischer Induktion sprachen, wurde angeführt, daß eine bedeutende Menge Magnetismus in der Nähe eines Elektrizität führenden Leiters erzeugt und konzentriert werden kann, falls der Leiter von einem stark paramagnetischen Stoff (z. B. Eisen) umgeben wird. Darin hat man also ein Mittel, um größere Mengen Magnetismus zum Zweck magnetoelektrischer Induktion hervorzubringen. Die induktiven Wirkungen zwischen den primären und sekundären Leitern können auch bedeutend gesteigert werden, wenn man auf geeignete Weise von dem hohen magnetischen Aufnahme- und Leitvermögen des Eisens Gebrauch macht. Hat man z. B. drei zentral gelegene primäre Leiter (Fig. 22), die von einer Anzahl sekundärer Leiter konzentrisch umschlossen sind, und ist das Ganze konzentrisch von einem Eisenring oder Eisenmantel von großem Querschnitte eingeschlossen, so wird das Eisen eine bedeutende Menge Magnetismus an sich ziehen. Wenn nun die Stärke des Stromes in den primären Leitern variiert, kommt der Magnetismus in Bewegung, und auf seinem Wege hin und zurück (nach außen und nach innen) wird er die sekundären Leiter passieren oder bestreichen und in denselben einen entsprechenden elektrischen Strom induzieren. Anstatt die Leiter nur gerade durch das Innere des Eisenringes auf die Art, wie die Figur zeigt, zu führen, können sie auch in parallelen Windungen auf den Ring als Kern gewickelt werden, so daß sie sowohl das Äußere, als auch das

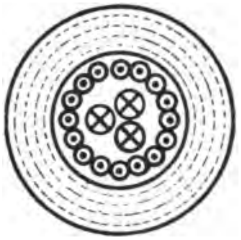

Fig. 22.

Innere des Ringes berühren. Es sind aber sowohl in Betreff der Lage des primären Leiters im Verhältnis zu dem sekundären Leiter, als auch in Betreff der Lage des Eisens im Verhältnis zu den Leitern mehrere Anordnungen möglich, wie auch aus den verschiedenen elektrischen Transformatorkonstruktionen zu ersehen ist. Daß nicht alle Anordnungen gleich vorteilhaft sind, geht aus dem Gesagten zur Genüge hervor. Als Beispiel einer weniger vorteilhaften Anordnung führen wir diejenige an, die in Figur 23 angegeben ist, und die aus einem zylindrischen Eisenring besteht, auf welchem eine primäre Spule *a* und eine sekundäre *b* diametral einander gegenüber angebracht sind. Auf Grund des großen Abstandes der sekundären Leiter von den primären werden jene nicht von dem ganzen induzierten Magnetismus passiert, zumal da ein nicht unbedeutender Teil des Magnetismus sich nur in dem Innern des Ringes hin und zurück bewegen wird, ohne die sekundären Leiter, in denen man Elektrizität und elektromotorische Kraft induzieren will, zu erreichen. Viel vorteilhafter würde das Induktionsergebnis werden, wenn der Ring in einer länglichen Form zusammengepresst würde, so daß die sekundären Leiter direkt neben den primären zu liegen kämen.

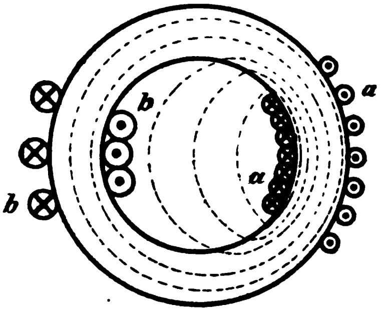

Fig. 23.

Ehe wir diesen Artikel schließen, wollen wir mit Hilfe einer mechanischen Anordnung versuchen, die elektromagnetische und die magnetoelektrische Induktion sinnbildlich zu erklären, indem wir uns eine gewisse Analogie zwischen elektrischen-magnetischen und mechanischen Erscheinungen denken. Einen Vergleich zwischen diesen Erscheinungen anzustellen, ist aber eine heikle Angelegenheit, da man bekanntlich das Wesen und die physikalische Natur der Elektrizität und des Magnetismus nicht kennt. Folglich wird auch unser Vergleich seine Mängel haben, und daher ist sein Zweck nur, die Sache annäherungsweise zu veranschaulichen, um so zu einer leichteren Auffassung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen beizutragen.

Wir lassen eine hydraulische Rohrleitung *a—b—c—d* (Fig. 24) einen elektrischen Stromkreis und den Strom der Flüssigkeit den Strom der Elektrizität vorstellen; die eingezeichneten Pfeile geben die Stromrichtung an. Die Wirkung eines in der Rohrleitung angebrachten Schaufelrades *e* ist die Ursache des Flüssigkeitsstromes, und man denke sich die Elektrizitätsquelle oder die Erzeugungsstelle der elektromotorischen Kraft, die Ursache des Elektrizitätsstromes, auch da, wo das Rad *e* gelegen ist. Der Flüssigkeitsstrom wirkt treibend auf ein ähnliches Schaufelrad *i*, auf dessen Welle sich ein anderes Schaufelrad *m* befindet, das infolge seiner Bewegung einen gasförmigen Stoff in einen geschlossenen Raum *f—g* hineinpreßt und denselben komprimiert (Es kann aber auch anstatt eines Gases eine Flüssigkeit, sowie ein offener Raum von größerer Höhe angenommen werden!). Man denke sich, daß das Gas auf irgend eine Weise aus der in der Leitung *a—b—c—d* kreisenden Flüssigkeit entspringt oder vermöge der Kräfte des Flüssigkeitsstromes gebildet wird, wenn dieser die Stelle passiert, wo die Räder *i* und *m* gelegen sind, und daß es an dem zentralen Teile des Rades *m* eintritt, von wo aus das Gas nachher in den Raum *f—g* hineingepreßt wird. In dem als zylindrisch angenommenen Raume $g—g_1$ befindet sich ein Kolben *u*, der dicht schließt, sich aber in dem Zylinder hin und her bewegen kann. Hinter diesem Kolben, also in dem Raume g_1 bei der in der Figur gezeichneten Gleichgewichtslage, denke man sich ein anderes Gas (oder ein System von Federn), das sich hinter dem Kolben komprimieren läßt und somit stets das Bestreben hat, den Kolben und das vor diesem, also in dem Raume *f—g* befindliche Gas zurückzutreiben. Das in den Raum *f—g* hineingepreßte Gas (oder die Flüssigkeitssäule, wenn man anstatt des Gases eine Flüssigkeit angenommen hat) lasse man den Magnetismus oder das magnetische Feld vorstellen, welches um den gedachten magnetisierenden Leiter *a—b—c—d* entsteht. Ein so beschaffenes Feld (obwohl in der Figur nur in einer Richtung und an nur einer Stelle dargestellt) denke man sich nun

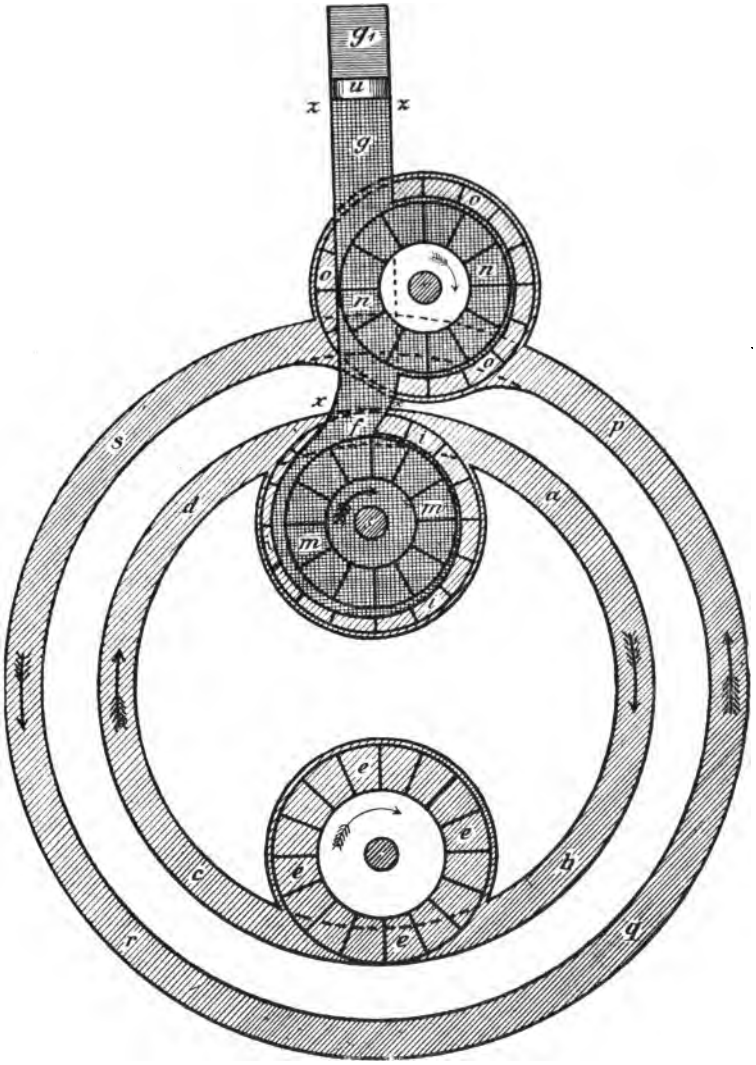
g₁
u
x
x
g
o
n
o
n
o
x
f
i
s
p
d
a
m
m
i
e
e
e
c
b
e
r
q

Fig. 24.

überall um die ganze Leitung herum erzeugt. Die Figur zeigt das Gas (bezw. das magnetische Feld) mit einer radialen, beliebig angenommenen Ausdehnung *f*—*u*, welche einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit der Räder *i* und *m* oder einer gewissen Geschwindigkeit der Flüssigkeit in dem Kreise *a—b—c—d* entspreche. Die Umwandlung von Flüssigkeit in Gas oder, umgekehrt, von Gas in Flüssigkeit stelle die Umwandlung von elektrischer in magnetische Energie oder, umgekehrt, von magnetischer in elektrische Energie vor. Wie die Umwandlung von Flüssigkeit in Gas oder, umgekehrt, von Gas in Flüssigkeit stattfindet (oder wie die Flüssigkeit in den Raum *f—g* hineintritt, wenn man anstatt des Gases eine Flüssigkeit angenommen hat), lassen wir dahingestellt sein, und lassen wir das dabei Unerklärte dem Unerforschten entsprechen, das bei der Umwandlung von elektrischer in magnetische Energie oder, umgekehrt, von magnetischer in elektrische stattfindet. Mit der Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit der erwähnten Flüssigkeit wird die Menge und Dichte des Gases in dem Raume *f—g* zu- oder abnehmen. Diese Gasdichte möge die magnetische Dichte vorstellen. Mit der Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit der Flüssigkeit nimmt auch der Abstand *f—u*, welcher die radiale Ausdehnung des magnetischen Feldes vorstellt, zu oder ab. Die Ausdehnung des magnetischen Feldes ändert sich mit der Stärke des magnetisierenden Stromes. Der Längsschnitt *x—x—z—z* durch den Raum *f—g* ist mit einem radialen magnetischen Querschnitte, einem Schnitte quer durch einen Teil des magnetischen Kreises, zu vergleichen, denn die Leitung *a—b—c—d* stellt dasselbe vor, wie die Leitung *g—h—l—k* in Figur 17 *B*, sowie die Leiter *a* in den Figuren 19, 20 und 21.

Rotiert nun das treibende Rad *e* mit einer konstanten Geschwindigkeit, so erhält die Flüssigkeit in der Leitung *a—b—c—d*, sowie auch das getriebene Rad *i* und das damit starr verbundene, treibende Rad *m* ebenfalls konstante Geschwindigkeit, wodurch die Dichte in dem Raume *f—g* bezw. in dem Schnitte *x—x—z—z* gleichfalls konstant wird, sobald Gleichgewicht in dem System eingetreten ist. Ändert sich aber die Geschwindigkeit der Flüssigkeit, so wird das Gleichgewicht gestört. Jede Geschwindigkeit der Flüssigkeit erteilt dem Rade *m* eine bestimmte Geschwindigkeit und ruft dadurch einen bestimmten Druck und eine bestimmte Dichte bei dem Gase in dem Raum *f—g* hervor. In ähnlicher Weise wirkt die Stärke des elektrischen Stromes bestimmend auf das magnetische Feld, das den Leiter umgibt. — Wenn der Flüssigkeitsstrom in *a—b—c—d* plötzlich unterbrochen wird, oder die das Rad *e* treibende Kraft plötzlich zu wirken aufhört, so wird das

Gleichgewicht in dem System auch plötzlich gestört; das komprimierte Gas strömt dann rasch nach innen zurück, versetzt dabei das Rad *m* in eine schnelle Rotation nach rückwärts, also der Pfeilrichtung entgegen, und wandelt sich in Flüssigkeit um. Durch das Rad *m* kommt das damit starr verbundene Rad *i* ebenfalls in schnelle Bewegung und ruft in der Leitung *a—b—c—d* einen heftigen Flüssigkeitsstrom hervor, welcher auch rückwärts, also in entgegengesetzter Richtung zu dem vorherigen Strome geht. Bei dem elektrischen Stromkreise findet man eine analoge Erscheinung.

Das oben Angeführte galt speziell der *elektromagnetischen* Induktion. Um nun auch die *magnetoelektrische* Induktion bildlich zu veranschaulichen, denke man sich die Figur derartig erweitert, daß man noch ein Schaufelrad *n* erhält, welches in Rotation tritt, sobald sich das Gas in dem Raume *f—g* nach außen oder nach innen bewegt, und welches durch dieselbe Welle mit einem anderen Schaufelrad *o* in starrer Verbindung steht, so daß es dadurch in einer zweiten hydraulischen Rohrleitung *p—q—r—s,* die einen festen sekundären elektrischen Stromkreis vorstelle, eine Flüssigkeit in Bewegung setzen kann. Der Querschnitt *x—x—z—z* stelle einen beweglichen (veränderlichen) magnetischen Querschnitt, Magnetismus in dynamischem Zustande, vor, und *p—q—r—s* eine feste elektrische Leitung, die, wie die Figur zeigt, von dem Magnetismus so passiert (bestrichen) wird, daß eine elektromotorische Kraft darin induziert werden kann. Im vorliegenden Falle denke man sich, wie vorhin, daß der Magnetismus von der ebenfalls festen Leitung *a—b—c—d,* zu welcher die Leitung *p—q—r—s* parallel ist, herrührt; aber des weiteren denke man sich, daß ein magnetisches Feld auch in diesem Falle um die ganze (primäre) Leitung *a—b—c—d* herum besteht. Die Analogie zwischen dem, was in der angeführten mechanischen Anordnung vor sich geht, und den magnetoelektrischen Erscheinungen ist leicht zu verstehen. Ist die Stärke des Flüssigkeitsstromes (die Stärke des magnetisierenden elektrischen Stromes) in dem primären Kreise *a—b—c—d* konstant, so befindet sich das in dem Raume *f—g* eingepreßte Gas in Ruhe (der Magnetismus befindet sich in statischem Zustande); infolgedessen sind die Räder *n* und *o* auch in Ruhe, und kann deshalb kein Strom in dem sekundären Kreise *p—q—r—s* entstehen. Nimmt aber die Stromstärke in dem Kreise *a—b—c—d* zu, und geht der Strom dabei in der Richtung, nach welcher die Pfeile zeigen, so wird mehr

Gas in den Raum *f—g* hineingepreßt, wodurch die Räder *n* und *o* in der Pfeilrichtung in Rotation versetzt werden und somit im Kreise *p—q—r—s* ein Strom erzeugt wird, welcher in der Richtung geht, nach welcher die darin eingezeichneten Pfeile zeigen, d. i. ein Strom, der in entgegengesetzter Richtung zu der des Stromes in dem Kreise *a—b—c—d* geht. Nimmt die Stromstärke in dem Kreise *a—b—c—d* dagegen ab (Die Richtung unverändert!), so geht der Strom in dem Kreise *p—q—r—s* in derselben Richtung wie in dem Kreise *a—b—c—d*, denn sobald die Geschwindigkeit der Räder *i* und *m* abnimmt, fällt der Druck bezw. die Dichte im Raume *f—g*, d. h. das Gas strömt zurück und versetzt dabei die Räder *n* und *o* in eine der Pfeilrichtung entgegengesetzte Rotation.

Die angeführte mechanische Anordnung kann auch benutzt werden, um die Erscheinungen der Selbstinduktion und der gegenseitigen Induktion (vgl. Art. 82) zu verdeutlichen.

70. Elektrische Stromstärke (A).

Aus dem, was im vorhergehenden Artikel gesagt wurde, leuchtet ein, daß zwischen Magneten und Leitern, welche Elektrizität führen und infolgedessen von magnetischem Felde, von magnetischer Energie, umgeben sind, stets gegenseitige Wirkungen bestehen. Diesen Umstand benutzt man, um einen algebraischen Ausdruck für elektrische Stromstärke aufzustellen und für diese eine Einheit zu bestimmen und zu dimensionieren.

Wenn man sich im Zentrum eines Ringes, der aus einem elektrischen Leiter gebildet ist und nur *eine* kreisförmige Windung vom Halbmesser r und Umfang $2\pi r$ hat und in dem eine elektrische Stromstärke A herrscht, einen Magnetpol der Stärke $\mathfrak{M}$ eines Magnets denkt, dessen anderer Pol so weit entfernt ist, daß er auf das Feld des fraglichen Leiters ohne Einfluß bleibt, so wird der im Zentrum befindliche Magnetpol, weil der Leiter infolge der in ihm herrschenden Stromstärke auch eine Art magnetische Polstärke ($= \mathfrak{k}_b 2\pi r A$) erzeugt, angezogen oder abgestoßen durch eine Kraft (vgl. Art. 60)

$$F_e = \frac{(\mathfrak{k}_b 2\pi r A)\,\mathfrak{M}}{r^2} = \frac{\mathfrak{k}_b 2\pi A\,\mathfrak{M}}{r}.$$

Im C. G. S.-System fällt der Koeffizient $\mathfrak{k}_b$ weg, indem man die Einheit der elektrischen Stromstärke entsprechend dimensioniert.

Daher

$$\mathring{F}_e = \frac{2\pi A \mathfrak{m}}{r}\ dyn$$

und, wenn nur ein Teil der kreisförmigen Windung berücksichtigt wird,

$$\mathring{F}_e = \frac{s}{r^2} A \mathfrak{m} = \frac{\alpha}{r} A \mathfrak{m}\ dyn.$$

Nach dem Gesetze von Biot und Savart hat man im allgemeinen im Abstande l von einem Leiter

$$F_e = \mathfrak{f}_h \frac{A \mathfrak{m}}{l}.$$

Aus den obigen Gleichungen ergibt sich für die elektrische Stromstärke

$$A = \frac{r}{\mathfrak{f}_b} \frac{F_e}{2\pi \mathfrak{m}} = \frac{l}{\mathfrak{f}_h} \frac{F_e}{\mathfrak{m}}$$

und speziell im **C. G. S.**-System für eine ganze kreisförmige Windung, sowie für einen Teil einer solchen Windung

$$\mathring{A} = \frac{r}{2\pi} \frac{F_e}{\mathfrak{m}}, \text{ sowie } \mathring{A} = \frac{r^2}{s} \frac{F_e}{\mathfrak{m}} = \frac{r}{\alpha} \frac{F_e}{\mathfrak{m}}.$$

Es erhellt hieraus, wenn die ganze Windung in Betracht gezogen wird und jeder der Faktoren r, F_e und $\mathfrak{m} = 1$ gesetzt wird, daß A dann nicht $= 1$ werden kann, sondern $= \frac{1}{2\pi}$. Um $A = 1$ zu machen, müßte man, wenn F_e auch $= 1$ sein soll, entweder $r = 2\pi$ machen oder einen Magnetpol benutzen, dessen Stärke nur $\mathfrak{m} = \frac{1}{2\pi}$ der Stärke des Einheitspoles ist. Nimmt man dagegen nicht eine ganze Windung, sondern nur einen Teil $s = 1$, so wird auch $A = 1$, wenn r und F_e ebenfalls $= 1$ sind. Demnach ist die **C. G. S.**-Einheit der elektrischen Stromstärke diejenige Stromstärke, die in einem 1 *cm* langen Kreisbogen mit dem Halbmesser 1 *cm* herrschen muß, um auf einen im Zentrum befindlichen **C. G. S.**-Einheitspol die Kraft 1 *dyn* auszuüben. Die Dimension der Einheit wird somit

$$\mathring{A} = \frac{r^2}{s} \cdot \frac{F_e}{\mathfrak{m}} = \frac{C^2}{C} \cdot \frac{C\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}} = \frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}$$

$$= C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1} = 1 \text{ C. G. S.-Stromeinheit}$$

sein. Obwohl diese Einheit von praktisch geeigneter Größe ist, wird sie in der Praxis nicht benutzt, sondern man hat eine Stromstärke, die gleich 1 : 10 der C. G. S.-Einheit ist, als Einheit für praktische Zwecke gewählt, welche Einheit *ampère* genannt wird, nach André Marie Ampère.

Will man die Stromstärke in Ampères ausdrücken, während die anderen Größen in C. G. S.-Einheiten ausgedrückt werden, erhält man also

$$A = 10 \frac{r^2}{s} \frac{F_e}{\mathfrak{M}} \text{ ampère.}$$

Die sogen. praktische Einheit oder das Ampère wird durch den unveränderlichen Strom dargestellt, welcher bei dem Durchgang durch eine wässerige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118 *grm* Silber niederschlägt. In Deutschland ist diese Einheit für die gewerbsmäßige Abgabe elektrischer Energie gesetzlich vorgeschrieben.

Aus Artikel 66 ersieht man, daß F_e und $\mathbf{B}$ identisch sind, und daß daher auch $\frac{F_e}{\mathfrak{M}} = \theta$ sein muß. Demnach kann man für die Stromstärke auch schreiben

$$\mathring{A} = \frac{r^2}{s} \theta \text{ Stromstärkeeinheiten (C. G. S.-).}$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich

$$\mathring{\theta} = A \frac{s}{r^2} \text{ gauss,}$$

welcher Ausdruck die magnetische Dichte im Zentrum eines Kreisbogens s vom Kreishalbmesser r angibt, wenn eine Stromstärke A im Bogen besteht. Für einen Ring oder eine ganze Windung ist die magnetische Dichte im Zentrum

$$\mathring{\theta} = A \frac{2\pi r}{r^2} = A \frac{2\pi}{r} \text{ gauss.}$$

Hat der Ring mehrere Windungen $\mathfrak{N}$, und ist die Stromstärke in jeder derselben gleich A, so ist die magnetische Dichte im Zentrum

$$\mathring{\theta} = A \mathfrak{N} \frac{2\pi}{r} \text{ gauss.}$$

Aus den gegenseitigen Wirkungen, welche zwischen einem magnetischen Felde und einem Elektrizität führenden Leiter bestehen, und welche sich, je nach den vorhandenen Polaritäten, in Form einer Anziehung oder einer Abstoßung äußern, geht hervor, daß es stets einer äußeren Kraft $\boldsymbol{F}_m$ bedarf, um einen Leiter, in welchem ein elektrischer Strom kreist, in einem stillstehenden magnetischen Feld in Ruhe zu halten, oder um den Leiter in Bewegung zu setzen in einer Richtung, die derjenigen entgegengesetzt ist, nach welcher die innere anziehende oder abstoßende Kraft $\boldsymbol{F}_e$ den Leiter zu bewegen bestrebt ist. Im Falle, daß der Leiter aus einem kreisförmigen Ring oder aus einem Kreisbogen besteht, hat man für die äußere mechanische Kraft die aus dem Vorhergehenden schon bekannten Gleichungen

$$\mathring{\boldsymbol{F}}_m = \boldsymbol{F}_e = 2\pi \boldsymbol{r} \boldsymbol{A} \frac{\mathfrak{m}}{\boldsymbol{r}^2} \text{ und } = \boldsymbol{s} \boldsymbol{A} \frac{\mathfrak{m}}{\boldsymbol{r}^2} \; dyn.$$

Da nun nach dem in Artikel 66 Gesagten $\frac{\mathfrak{m}}{\boldsymbol{r}^2} = \boldsymbol{\theta}$ ist, so ist auch

$$\mathring{\boldsymbol{F}}_m = 2\pi \boldsymbol{r} \boldsymbol{A} \boldsymbol{\theta} \text{ und } = \boldsymbol{s} \boldsymbol{A} \boldsymbol{\theta} \; dyn.$$

Für einen geraden Leiter der Länge $\boldsymbol{l}$ hat man

$$\mathring{\boldsymbol{F}}_m = \boldsymbol{l} \boldsymbol{A} \boldsymbol{\theta} \; dyn.$$

Wenn der Leiter in Ruhe bleibt, befinden sich die inneren und äußeren Kräfte im Gleichgewicht. Aus der zuletzt erwähnten Gleichung ergibt sich noch ein Ausdruck für die Stromstärke, nämlich

$$\mathring{\boldsymbol{A}} = \frac{\boldsymbol{F}_m}{\boldsymbol{l} \boldsymbol{\theta}}$$

oder für ein beliebiges Maßsystem

$$\boldsymbol{A} = \frac{1}{\mathfrak{k}_b} \frac{\boldsymbol{F}_m}{\boldsymbol{l} \boldsymbol{\theta}},$$

welche Gleichungen natürlich mit den vorhin erwähnten identisch sind.

71. Elektromotorische Kraft ($\boldsymbol{E}$).

Unter der Rubrik *magnetoelektrische Induktion* in Artikel 69 wurde gezeigt, wie elektromotorische Kraft in einem Leiter induziert wird, wenn der Leiter auf eine bestimmte Art und Weise durch ein magnetisches Feld hindurch geführt wird. Die induzierte elektromotorische Kraft ist direkt proportional der Länge des Leiters innerhalb des magnetischen Feldes, der Geschwindigkeit des Leiters und der magnetischen Dichte des Feldes. Wenn *a—a—a—a* (Fig. 25) teils eine positiv magnetische (nordmagnetische) Polfläche, teils einen dicht neben dieser Polfläche gelegenen und zu derselben parallelen aëromagnetischen Querschnitt gleichmäßiger magnetischer Dichte $\boldsymbol{\theta}$ und *c—c* einen in diesem Querschnitte auf elektrisch leitenden Stäbchen *e—e* beweglichen elektrischen Leiter darstellt, der, wie das Bild zeigt, mit einem Galvanometer i in metallischer Verbindung steht, und dessen effektive Länge, die Länge innerhalb des Feldes, gleich l ist, so wird, wenn der Leiter parallel zu sich selbst mit gleichförmiger Bewegung in der Zeit t eine Weglänge l_1 zurücklegt, eine elektromotorische Kraft induziert, die sich aus der Gleichung

$$E = \mathfrak{k}_a\, l \frac{l_1}{t}\, \boldsymbol{\theta} = \mathfrak{k}_a\, l\, v\, \boldsymbol{\theta}$$

ergibt. Im **C. G. S.**-System dimensioniert man die Einheit der elektromotorischen Kraft so, daß der Koeffizient $\mathfrak{k}_a = 1$ wird; daher

$$\mathring{E} = l \frac{l_1}{t}\, \boldsymbol{\theta} = l\, v\, \boldsymbol{\theta} .$$

Indem der Leiter die Weglänge l_1 zurücklegt, bestreicht er einen Teil $l \times l_1 = S$ des magnetischen Querschnittes. Setzt man S für $l \times l_1$ in die Gleichung ein, erhält man weiter für die elektromotorische Kraft

$$\mathring{E} = \frac{S \boldsymbol{\theta}}{t}$$

und schließlich, da $S \boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\Phi}$ ist

$$\mathring{E} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{t}$$

oder für ein beliebiges Maßsystem

$$E = \mathfrak{k}_a \frac{\boldsymbol{\Phi}}{t} .$$

Die Gleichungen $\mathring{E} = l\, v\, \boldsymbol{\theta}$ und $\mathring{E} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{t}$ sind, wie man sieht, vollkommen identisch und sind nur verschiedene algebraische Ausdrücke für eine und dieselbe Sache, aber beide Formen finden Anwendung in der Praxis.

Die Bestimmungsgleichungen der elektromotorischen Kraft können aber auch aus dem Grundsatze von der Erhaltung der Energie abgeleitet werden. Wenn keine sogen. Umsetzungs- oder Umwandlungsverluste stattfänden, würde eine bestimmte Menge mechanischer Energie in eine äquivalente Menge elektrischer Energie umgewandelt werden können. Aus dem vorhergehenden Artikel wissen wir, daß eine äußere mechanische Kraft $\mathring{F}_m = l A \theta$ nötig ist, um einen Leiter, der eine Länge l hat und in dem ein elektrischer Strom der Stärke A kreist, quer durch ein magnetisches Feld der Dichte θ gegen die innere, entgegengesetzt wirkende Kraft zu führen. Wird nun der Leiter durch jene mechanische Kraft eine Weglänge l_1 (Fig. 25) geführt, so verrichtet diese Kraft eine mechanische Arbeit

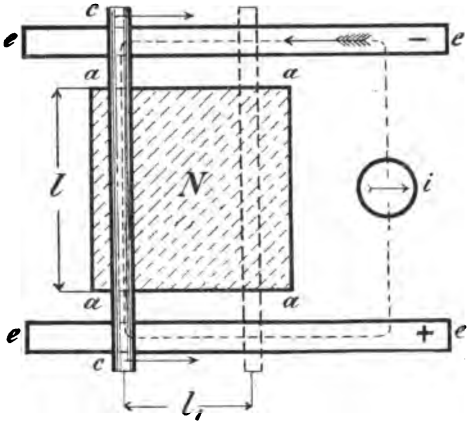

Fig. 25.

$$W_m = F_m l_1 = \mathfrak{f}_a l A \theta l_1 ,$$

und, wenn die Weglänge in der Zeit t zurückgelegt wird, so wird der mechanische Effekt, die mechanische Leistung,

$$P_m = F_m \frac{l_1}{t} = \mathfrak{f}_a l A \theta \frac{l_1}{t} = \mathfrak{f}_a l A \theta v .$$

Nach dem Grundsatze von der Erhaltung der Energie muß nun, bei vollkommener Umwandlung, die während der Zeit t verrichtete mechanische Arbeit W_m der während derselben Zeit erzeugten elektrischen Arbeit W_e gleichwertig sein; also

$$W_e = W_m \text{ und } \frac{W_e}{t} = \frac{W_m}{t} \text{ und } P_e = P_m$$

und folglich

$$P_e = EA = P_m = \mathfrak{k}_a \, l \, A \, \theta \, v,$$

woraus

$$EA = \mathfrak{k}_a \, l \, A \, \theta \, v$$

und dann daraus, wie vorhin,

$$E = \mathfrak{k}_a \, l \, v \, \theta$$

und auch, weil $v = \frac{l_1}{t}$ und $l \, l_1 = S$ und $S\theta = \Phi$,

$$E = \mathfrak{k}_a \frac{\Phi}{t}.$$

Nicht immer sind die in den Gleichungen der elektromotorischen Kraft vorkommenden Größen konstant, daher im allgemeinen

$$E = \mathfrak{k}_a \, \theta \, dl \frac{dl_1}{dt} \text{ und } E = \mathfrak{k}_a \frac{d\Phi}{dt}.$$

Die Bestimmungsgleichung $E = \mathfrak{k}_a \, \theta \, dl \frac{dl_1}{dt}$, bezw. $E = \mathfrak{k}_a \, l \, v \, \theta$, setzt voraus, daß der elektrische Leiter *c—c* (Fig. 25) sich in einer zu der Polfläche *a—a—a—a* parallelen Ebene, in einem *normalen* Querschnitte des magnetischen Kreises, bewegt, und daß die Richtung der den Leiter bewegenden äußeren Kraft winkelrecht zur Längsrichtung des Leiters ist. Ist das nicht der Fall, sondern bildet der Leiter einen Winkel β mit der Polfläche oder dem normalen magnetischen Querschnitte und einen Winkel γ mit der Kraftrichtung, so lautet die Gleichung

$$E = \mathfrak{k}_a \, \theta \, v \, l \cos \beta \sin \gamma$$

oder im allgemeinen

$$E = \mathfrak{k}_a \, \theta \frac{dl_1}{dt} dl \cos \beta \sin \gamma.$$

Die Dimension der Einheit der elektromotorischen Kraft ist im **C. G. S.**-System

$$\mathring{E} = l \cdot v \cdot \theta = \mathrm{C} \cdot \mathrm{C\,S}^{-1} \cdot \frac{\mathrm{C\,G\,S}^{-2}}{\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}} = \mathrm{C} \cdot \frac{\mathrm{C}^2\,\mathrm{G\,S}^{-3}}{\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}} = \frac{\mathrm{C}^2\,\mathrm{G\,S}^{-2}}{\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}}$$

$$= \mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-2} = 1 \text{ C. G. S.-Einheit der E. M. K.}$$

Diese Einheit ist nur $1:10^8$ der elektromotorischen Kraft, welche die praktische Einheit darstellt, die *volt* genannt wird, nach Alessandro Volta. Der gesetzlichen Definition der Größe des Volts wird in Artikel 78 Erwähnung getan, zumal weil die Einheit des elektrischen Leitungswiderstandes zuerst definiert werden muß.

Falls man die elektromotorische Kraft in Volts ausgedrückt wünscht, während l, v und θ bezw. Φ in C. G. S.-Einheiten ausgedrückt werden, hat man

$$E = 10^{-8}\, l\, v\, \theta = 10^{-8} \frac{\Phi}{t} \textit{ volt}.$$

Aus den Bestimmungsgleichungen der elektromotorischen Kraft geht hervor, daß die elektromotorische Kraft von der Stromstärke unabhängig ist, d. h. eine elektromotorische Kraft kann in einem Leiter induziert, oder der Leiter kann mit Elektrizität geladen werden, ohne daß ein eigentlicher elektrischer Strom im Leiter besteht oder zum Vorschein kommt. Wird aber ein Stromkreis, eine Elektrizität leitende Anordnung, d. i. eine metallisch geschlossene Bahn, gebildet, so entsteht sofort ein elektrischer Strom, dynamische Elektrizität. — Der Ausdruck *elektromotorische Kraft* wird häufig abgekürzt zu E. M. K. oder EMK.

72. Elektrischer Leitungswiderstand (R).

Elektrischer Leitungswiderstand, elektrische Stromstärke (A) und elektromotorische Kraft (E) stehen in einer bestimmten Beziehung zueinander, welche durch das *Ohmsche* Gesetz

$$A = \frac{E}{R}$$

algebraisch dargestellt wird. Hieraus ergibt sich für den elektrischen Leitungswiderstand die Gleichung

$$R = \frac{E}{A},$$

d. h. der Widerstand in einem elektrischen Stromkreis ist $= R$, wenn eine in diesem Kreis wirkende elektromotorische Kraft E

darin eine elektrische Stromstärke $\boldsymbol{A}$ erzeugt. Aus Gründen, die später näher erörtert werden, ist es in besonderen Fällen üblich, diesen Widerstand den *wirklichen* oder *metallischen* oder auch, obschon weniger zweckmäßig, den *Ohmschen* zu nennen.

Im **C. G. S.**-System ist die Einheitsdimension

$$\mathring{\boldsymbol{R}} = \frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{A}} = \frac{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2}}{\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}},$$

welche meistens durch Kürzung auf die Form $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$, die Dimension der Einheit der Geschwindigkeit, gebracht wird. Der vollständige Dimensionsausdruck dürfte jedoch in mancher Hinsicht der geeignetere sein. Die Einheit des Leitungswiderstandes wird repräsentiert durch den elektrischen Widerstand eines einfachen elektrischen Stromkreises, in welchem die Einheit der elektromotorischen Kraft die Einheit der elektrischen Stromstärke erzeugt, oder, da $\boldsymbol{R}$ auch gleich $\frac{\boldsymbol{D}}{\boldsymbol{A}}$ ist (vgl. Art. 78), durch den Widerstand eines Leiters, worin die Einheit der Stromstärke erzeugt wird, wenn die Einheit der elektrodynamischen Spannung zwischen den Endpunkten des Leiters herrscht. Als physikalisches Maß für die Widerstandseinheit kann also der Widerstand eines bestimmten Stromkreises oder eines bestimmten Leiters dienen.

Hinsichtlich der Berechtigung des Dimensionsausdruckes $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$ sei erwähnt, daß der Widerstand einer Geschwindigkeit in der Tat proportional ist, wodurch man auch die Möglichkeit der Dimension zu begründen sucht. Setzt man $\boldsymbol{l}\,\boldsymbol{v}\,\boldsymbol{\theta}$ anstatt $\boldsymbol{E}$ in die *Ohmsche* Gleichung ein, so erhält man für den Widerstand

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{A}} = \frac{\boldsymbol{l}\,\boldsymbol{\theta}}{\boldsymbol{A}}\,\boldsymbol{v}\,.$$

Aus dieser Gleichung ersieht man, daß in gleich langen und gleich geformten Leitern, die auf gleiche Weise durch dasselbe magnetische Feld hindurch bewegt werden, der Widerstand stets proportional der Geschwindigkeit sein wird, mit welcher der betreffende Leiter durch das Feld hindurch bewegt werden muß, um die gleiche Stromstärke zu erzeugen. Setzt man jeden der Faktoren $\boldsymbol{l}$, $\boldsymbol{\theta}$ und $\boldsymbol{A}$ gleich 1, so wird $\boldsymbol{R}$ numerisch gleich $\boldsymbol{v}$. Die Dimension des Ausdruckes $\frac{\boldsymbol{l}\,\boldsymbol{\theta}}{\boldsymbol{A}}$ ist gleich **I**. — Wie man sieht, bezeichnet

v hier die Geschwindigkeit, mit welcher eine mechanische Kraft den Leiter bewegen muß, um eine bestimmte elektromotorische Kraft und Stromstärke zu erzeugen. Elektrizität wird aber nicht nur durch magnetoelektrische Induktion, sondern auch auf andere Art (durch chemische, thermische u. s. w. Vorgänge) erzeugt, aber man würde sich schließlich bei solchen Vorgängen auch eine Geschwindigkeit und einen Widerstand denken können, die proportional sind. In jedem Falle setzt das Entstehen einer elektromotorischen Kraft eine Bewegung voraus, und wo eine Bewegung ist, da ist auch eine Geschwindigkeit. Darum muß die Einheitsdimension der elektromotorischen Kraft $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2}$ auch die Einheitsdimension einer Geschwindigkeit $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$ enthalten. Wird sie mit Rücksicht darauf in zwei Faktoren zerlegt, so erhält man auch $(\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}) \times (\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})$. Der letzte Faktor ist, wie man sieht, die Einheitsdimension der elektrischen Stromstärke. Hieraus geht hervor, daß die Dimension $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$ auch auf andere Geschwindigkeiten, als auf die vorhin erwähnten, bezogen werden kann, und zwar auf eine Geschwindigkeit der Elektrizität. Dies ist noch leichter einzusehen, wenn man für das, was man elektrische Stromstärke nennt, den vielleicht geeigneteren Namen *Elektrizitätsstärke* benutzt und

$$E = v \times A$$

schreibt. Es sei auch hier beiläufig bemerkt, daß der Ausdruck *elektromotorische Kraft* ebenfalls nicht so ganz einwandfrei sein dürfte, obgleich er sich im Laufe der Zeit gut eingebürgert hat.

Die **C. G. S.**-Widerstandseinheit ist außerordentlich klein und wird daher in der Praxis nicht angewandt, sondern eine Einheit, die mit 10^9 **C. G. S.**-Einheiten äquivalent sein soll. Diese, die sogen. internationale Einheit des elektrischen Leitungswiderstandes, wird dargestellt durch den Widerstand, welchen eine Quecksilbersäule von 106,3 *cm* Länge, 14,4521 *grm* Gewicht und durchweg gleichmäßigem, 1 mm^2 gleich zu achtendem Querschnitt bei der Temperatur des schmelzenden Eises dem elektrischen Strom bietet. Dies ist die Widerstandseinheit, welche 1 *internationales ohm* genannt wird, nach Georg Simon Ohm.

Als Widerstandseinheit wurde schon 1864 von Werner von Siemens derjenige Widerstand vorgeschlagen, der von einer 100 *cm* langen Quecksilbersäule von 1 mm^2 Querschnitt bei einer Temperatur von 0° C repräsentiert wird. Auf den ersten Blick erscheint diese Widerstandseinheit, 1 *Siemens-Einheit* genannt, weit geeigneter als die später offiziell genehmigte sogen. *internationale Einheit*; da aber das Produkt aus den zwei im *Ohmschen* Gesetze vorhandenen Faktoren, der elektromotorischen Kraft $\boldsymbol{E}$ und der elektrischen Stromstärke $\boldsymbol{A}$, ein Ausdruck des elektrischen Effekts ist, und da man das physikalische Größenverhältnis der praktischen Einheiten (*volt, ampère* und *watt*) zu den philosophischen Einheiten ($\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2}$, $\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$ und $\mathbf{C}^{2}\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-3}$) zu resp. 10^8, 10^{-1} und 10^7 festgesetzt hatte, so konnte Siemens' praktischer Vorschlag nicht adoptiert werden, sondern man mußte die Widerstandseinheit durch Versuche ermitteln. Die Versuche, ein Widerstandsmaß in Form einer Quecksilbersäule zu bestimmen, ergaben indessen verschiedene Resultate; deswegen wurde auf dem Kongresse der Elektrotechniker in Chicago 1893 die vorhin erwähnte 106,3 *cm* lange Quecksilbersäule als *internationales* Einheitsmaß für den elektrischen Leitungswiderstand festgesetzt, und wurde die entsprechende Widerstandseinheit *ein internationales ohm* benannt, zum Unterschied von früheren Widerstandseinheiten, die auch *ohm* genannt wurden, (z. B. *legales ohm*, das aber nie *legal* war). Das internationale Ohm ist in Deutschland als gesetzliche Widerstandseinheit eingeführt. — In der deutschen Schwachstrom-Technik wird die *Siemens*-Einheit noch am meisten benutzt. Es ist 1 *Siemens*-Einheit = 0,94073 *internationales ohm* und 1 *internationales ohm* = 1,06300 *Siemens*-Einheiten. Wenn wir im folgenden von einem Widerstand von so und so vielen Ohms sprechen, sind aber stets internationale Ohms gemeint.

Der elektrische Leitungswiderstand ist verschieden bei den verschiedenen Substanzen und ändert sich auch mit der Temperatur; er ist der Länge des Leiters direkt und dem Querschnitt desselben umgekehrt proportional. Wenn $\mathfrak{k}_r$ den *spezifischen Leitungswiderstand* bedeutet (vgl. Art. 73), so ist

$$\boldsymbol{R} = \mathfrak{k}_r \frac{\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{S}}.$$

In der Praxis wird meistens $\boldsymbol{l}$ in *mtr*, $\boldsymbol{S}$ in *mm*^{2} und $\boldsymbol{R}$ in *ohm* ausgedrückt; und einer solchen Annahme entsprechende Werte für den Koeffizienten $\mathfrak{k}_r$ bei einer Temperatur von 15° C findet man in den elektrotechnischen Handbüchern. Im **C. G. S.**-System werden selbstverständlich $\boldsymbol{l}$, $\boldsymbol{S}$ und $\boldsymbol{R}$ in **C. G. S.**-Einheiten ausgedrückt, aber die erwähnten technischen Handbuchwerte können auch hier benutzt werden, wenn man sie mit 10^5 multipliziert. Der numerische Wert des Koeffizienten $\mathfrak{k}_r$ für eine bestimmte Substanz gibt den Widerstand an, den ein aus dieser Substanz bestehender prismatischer oder zylindrischer Körper von bestimmter Größe und Temperatur dem elektrischen Strome bietet; also speziell im **C. G. S.**-System den Widerstand eines Würfels der Längeneinheit 1 *cm* bei 0° C.

Hat man mehrere hintereinander geschaltete Leiter (Serien- oder Reihenschaltung) von verschiedenem Widerstand, z. B. $\boldsymbol{R}_1$, $\boldsymbol{R}_2$, $\boldsymbol{R}_3$, ..., so wird der Gesamtwiderstand

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{R}_1 + \boldsymbol{R}_2 + \boldsymbol{R}_3 + \ldots$$

Sind dagegen die Leiter nebeneinander geschaltet (Parallel- oder Nebeneinanderschaltung), wird der Gesamtwiderstand

$$\boldsymbol{R} = \frac{1}{\frac{1}{\boldsymbol{R}_1} + \frac{1}{\boldsymbol{R}_2} + \frac{1}{\boldsymbol{R}_3} + \ldots}$$

und, falls die Leiter den gleichen Widerstand haben: $\boldsymbol{R}_1 = \boldsymbol{R}_2 = \boldsymbol{R}_3 = \ldots$ und deren Anzahl gleich N ist,

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{R}_1}{\mathsf{N}}$$

und, falls man nur zwei Leiter von verschiedenem Widerstand $\boldsymbol{R}_1$ und $\boldsymbol{R}_2$ hat,

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{R}_1 \boldsymbol{R}_2}{\boldsymbol{R}_1 + \boldsymbol{R}_2}\,.$$

Wenn ein Leiter, der einen durchweg gleichen Querschnitt hat und einen (Serien-)Widerstand $\boldsymbol{R}_{ser}$ besitzt, in N gleiche Längen geteilt wird, und die Teile nebeneinander (parallel) geschaltet werden, so wird der (Parallel-)Widerstand

$$\boldsymbol{R}_{par} = \frac{\boldsymbol{R}_{ser}}{\mathsf{N}^2}\,;$$

teilt man den Leiter genau mitten durch, wird $\mathsf{N} = \mathbf{2}$ und

$$\boldsymbol{R}_{par} = \frac{\boldsymbol{R}_{ser}}{4}\,,$$

d. h. der Widerstand wird dann $\frac{1}{4}$ von dem, was er bei der Serienschaltung war.

73. Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand ($\mathfrak{f}_r$).

Der Leitungswiderstand kann mit Hilfe der im vorigen Artikel angegebenen Gleichung

$$R = \mathfrak{f}_r \frac{l}{S}$$

berechnet werden, wenn man den numerischen Wert des Koeffizienten $\mathfrak{f}_r$ für das betreffende Leitungsmaterial kennt. Numerische Werte von $\mathfrak{f}_r$ findet man in jedem elektrotechnischen Handbuche.

Die algebraische Definition des spezifischen elektrischen Leitungswiderstandes ergibt sich aus der soeben angeführten Gleichung; es ist

$$\mathfrak{f}_r = R \frac{S}{l} ,$$

und die Dimension des Koeffizienten im C. G. S.-System ist

$$\mathring{\mathfrak{f}}_r = R \cdot \frac{S}{l} = \mathrm{C\,S^{-1}} \cdot \frac{\mathrm{C^2}}{\mathrm{C}} = (\mathrm{C\,S^{-1}})\,\mathrm{C} = \mathrm{C^2\,S^{-1}} \, .$$

Dies ist der Widerstand eines Würfels, dessen Seite der Längeneinheit (1 *cm*) gleicht, bei einer bestimmten Temperatur.

Die zuweilen vorkommenden Ausdrücke: Megohmcentimeter, Ohmcentimeter und Microhmcentimeter als Name der Einheit des spezifischen Widerstandes gehören natürlich dem C. G. S.-System nicht an.

74. Relativer elektrischer Leitungswiderstand ($\mathfrak{f}_u$).

Relativer elektrischer Leitungswiderstand ist das numerische Verhältnis des spezifischen elektrischen Leitungswiderstandes einer Substanz ($\mathfrak{f}_{r.2}$) zu dem einer anderen Substanz, z. B. Quecksilber, ($\mathfrak{f}_{r.1}$). Den relativen Widerstand einer Substanz im Vergleich mit Quecksilber findet man somit, indem man den spezifischen Widerstand der Substanz durch den spezifischen Widerstand des Quecksilbers dividiert. Das ist

$$\mathfrak{f}_u = \frac{\mathfrak{f}_{r.2}}{\mathfrak{f}_{r.1}} \, .$$

Die Einheitsdimension von $\mathfrak{f}_u$ ist selbstverständlich I.

75. Elektrische Leitfähigkeit (L).

Elektrische Leitungsfähigkeit oder vielleicht besser Leitfähigkeit nennt man das Vermögen einer Substanz, eines Leitungsmaterials, Elektrizität zu leiten. Leitfähigkeit und Leitungswiderstand sind demnach reziproke Begriffe, und daher

$$L = \frac{1}{R}\,.$$

Im C. G. S.-System ist die Dimension der Einheit

$$\mathring{L} = \frac{1}{R} = \frac{\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}}{\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-2}} = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}} = \mathrm{C}^{-1}\,\mathrm{S}\,.$$

Die in der Praxis benutzte Einheit der Leitfähigkeit ist $\frac{1}{ohm}$, welche Einheit nach einem Vorschlage von Kelvin bisweilen *mho* genannt wird und welche mit $1 : 10^9$ C. G. S.-Einheiten gleichwertig ist.

76. Spezifische elektrische Leitfähigkeit ($\mathfrak{k}_c$).

Spezifische elektrische Leitfähigkeit und spezifischer elektrischer Leitungswiderstand sind reziproke Begriffe. Infolgedessen erhält man

$$\mathfrak{k}_c = \frac{1}{\mathfrak{k}_r}$$

und für den Widerstand, wenn man $\mathfrak{k}_c$ anstatt $\mathfrak{k}_r$ in die Widerstandsgleichung einführt,

$$R = \frac{1}{\mathfrak{k}_c}\,\frac{l}{S}\,.$$

Die Einheitsdimension der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit ist

$$\mathring{\mathfrak{k}}_c = \frac{1}{R}\cdot\frac{l}{S} = \frac{1}{\mathfrak{k}_r} = (\mathrm{C}^{-1}\,\mathrm{S})\,\mathrm{C}^{-1} = \mathrm{C}^{-2}\,\mathrm{S}\,.$$

77. Relative elektrische Leitfähigkeit ($\mathfrak{k}_v$).

Relative elektrische Leitfähigkeit ist das numerische Verhältnis der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit einer Substanz ($\mathfrak{k}_{c.2}$) zu der einer anderen Substanz, z. B. Quecksilber, ($\mathfrak{k}_{c.1}$), womit die übrigen Substanzen verglichen werden. Daraus folgt

$$\mathfrak{t}_v = \frac{\mathfrak{t}_{c.2}}{\mathfrak{t}_{c.1}} .$$

Die Dimension der Einheit der relativen elektrischen Leitfähigkeit ist natürlich I.

78. Elektrodynamische Spannung (*D*).

Die elektromotorische Kraft einer Elektrizitätsquelle ruft zwischen den zwei Polklemmen der Elektrizitätsquelle, sowie überhaupt zwischen zwei beliebigen Punkten auf dem elektrischen Stromkreise eine Art elektrischer Spannung oder elektrischen Druckes (auch elektrische *Potentialdifferenz* genannt) hervor, darin bestehend, daß die infolge der Polarisation der Elektrizität entstandenen ungleichnamigen Elektrizitätsmengen danach streben, sich miteinander zu vereinigen. Verbindet man die Polklemmen oder im allgemeinen zwei Punkte auf einem elektrischen Stromkreise, zwischen welchen eine bestimmte Spannung, ein bestimmter Druck, herrscht, miteinander durch eine Leitung (ein Stück Kupferdraht o. dgl.), so entsteht in dieser Verbindungsleitung sofort ein elektrischer Strom, dessen Stärke $\boldsymbol{A}$ dem Widerstand $\boldsymbol{R}$ der Leitung umgekehrt und der zwischen den Endpunkten der Leitung, d. i. zwischen den Polklemmen oder den sonst gewählten Verbindungsstellen, wirkenden Spannung $\boldsymbol{D}$ direkt proportional ist. Es ist also nach dem *Ohmschen* Gesetze

$$\boldsymbol{A} = \frac{\boldsymbol{D}}{\boldsymbol{R}},$$

woraus

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{A}\,\boldsymbol{R} .$$

Die Dimension der Einheit der elektrodynamischen Spannung ist im **C. G. S.**-System

$$\mathring{\boldsymbol{D}} = \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{R} = \mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1} \cdot \mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1} = \mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2} .$$

Es ist dies die Dimension der Einheit der elektromotorischen Kraft; d. h. die beiden Größen werden nach derselben Maßeinheit numerisch bestimmt. Die Gleichheit der Dimensionsausdrücke für die Einheiten der beiden Größen zeigt, daß die fraglichen Größen auch gleicher physikalischer Natur sind.

In der Praxis macht man von einer Einheit Gebrauch, die 10^8mal größer als die **C. G. S.**-Einheit ist und, wie in Artikel 71 erwähnt, den Namen *volt* führt. Diese Einheit ist, praktisch genommen, gleich $\frac{1000}{1434}$ der Spannung, welche zwischen den Polklemmen eines *Clarkschen* Normal-Elements bei einer Temperatur von 15° C herrscht.

Bei kommerziellen oder gewerblichen Messungen, z. B. bei der gewerbsmäßigen Abgabe elektrischer Energie von elektrischen Zentralstationen, ist es natürlich unerläßlich, daß die Messungen mit solchen Meßinstrumenten (Meßgeräten u. s. w.) geschehen, die mit Hilfe genauer Normal-Instrumente, welche auf gesetzlich festgesetzten Maßeinheiten beruhen, geeicht worden sind. Durch ein Gesetz vom 1. Juni 1898 wurden die elektrischen Maßeinheiten Ohm, Ampère und Volt für Deutschland vorgeschrieben.

Die Definition des Ohms und die des Ampères sind schon im vorhergehenden gegeben. Nachdem das Ohm und das Ampère bestimmt sind, kann das Volt vermittels des *Ohmschen* Gesetzes direkt definiert werden. Es ist diejenige Spannung, die zwischen den Endpunkten eines Leiters herrschen muß, um in einem Leiter, wenn dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen Strom von 1 Ampère zu erzeugen, oder auch diejenige elektromotorische Kraft, die in einem einfachen elektrischen Stromkreise, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen Strom von 1 Ampère erzeugt.

Die gesetzlich bestimmten Maßeinheiten für Leitungswiderstand, Stromstärke und Spannung bezw. elektromotorische Kraft sind mit denjenigen identisch, welche auf dem internationalen Kongresse der Elektrotechniker in Chicago 1893 definiert und angenommen wurden, und welchen man daselbst zum Unterschied von früher vorgeschlagenen bezw. benutzten Einheiten, die auch Ohm, Ampère und Volt hießen, das Attribut *international* beilegte. Die jetzt benutzten Einheiten heißen also vollständig: internationales Ohm, internationales Ampère und internationales Volt, obwohl die Bezeichnung *international* nunmehr weggelassen werden kann.

Durch das Festsetzen der Größe der Maßeinheiten für Leitungswiderstand, Stromstärke und Spannung, hat man auch die Größe der Maßeinheiten für elektrische Arbeit bezw. Energie, Leistung, Menge, Kapazität u. s. w. festgesetzt.

Da es noch nicht gelungen ist, eine Theorie aufzustellen, welche die Natur der elektrischen Erscheinung in jeder Hinsicht völlig aufklärt, kann man nur mutmaßungsweise annehmen, was in der Elektrizitätsquelle und in dem elektrischen Stromkreise vor sich geht. Gewöhnlich sucht man die bei dem elektrischen Stromkreise in Frage kommenden elektrischen und magnetischen Größen mit bestimmten mechanischen (hydraulischen) Größen zu vergleichen, und in gewisser Hinsicht scheint auch eine Analogie zwischen der elektrischen und einigen hydromechanischen Erscheinungen zu bestehen. Mit Hilfe der hydraulischen Vorrichtung, die aus Figur 26 hervorgeht, wollen wir versuchen, die Erscheinungen bei dem elektrischen Stromkreise mit denen bei dem hydraulischen Stromkreise zu vergleichen. Es sei jedoch gleich bemerkt, daß dieser Vergleich auch seine Mängel besitzt, und dies kann selbstverständlich nicht anders sein, solange man das Wesen und die Natur der Elektrizität nicht vollkommen kennt. Unsere Vorrichtung besteht aus einem Wasserrade *a*, das mittels eines Wasserstromes *b*—*b* getrieben wird, und das auf seiner Welle das fest angebrachte Rad *c* einer Kreiselpumpe (Zentrifugalpumpe) trägt. Die Pumpe soll stark genug sein, um einen Wasserstrom mit passender Geschwindigkeit in einer in sich geschlossenen Rohrleitung *d*—*f*—*g*—*h*—*k* zu erzeugen. In der Rohrleitung befindet sich ein Ventil (ein Absperrschieber) *m*. Es wird angenommen, daß die Pumpe auf irgend eine Weise mit genügendem Wasser versehen wird, welches, wenn die Pumpe tätig und das Ventil *m* geschlossen ist, das in der Figur angegebene Niveau einnimmt. Zwischen den zwei Punkten *n* und *o* der Hauptleitung führt eine sehr enge Leitung (Nebenschlußleitung), worin sich ein Meßinstrument *e* befindet, das den Druck zwischen den Punkten *n* und *o* angibt. Der Druck ist proportional der in der Leitung bestehenden hydraulischen Stromstärke. In der Hauptschlußleitung *f*—*g*—*h* befindet sich auch ein Meßinstrument *i*, das die in dieser Leitung bestehende hydraulische Stromstärke angibt.

Nun lassen wir das Wasserrad *a*, die Kreiselpumpe mit dem Schaufelrad *c* und den Teil *f*—*d*—*k*—*h* der Hauptrohrleitung zusammen den inneren elektrischen Leiter oder denjenigen Teil des elektrischen Stromkreises vorstellen, in welchem die Elektrizität bezw. die elektromotorische Kraft induziert wird; den Wasserstrom *b*—*b* lassen wir das vermöge einer äußeren, mechanischen Kraft bewegte Feld des magnetischen Kreises vorstellen, denn wir haben den elektrischen Leiter als stillstehend angenommen. Das Ventil *m* mag einen elektrischen Stromschalter, eine Vorrichtung zum Ein- und Ausschalten des elektrischen Stromes, der Teil *f—g—h* der

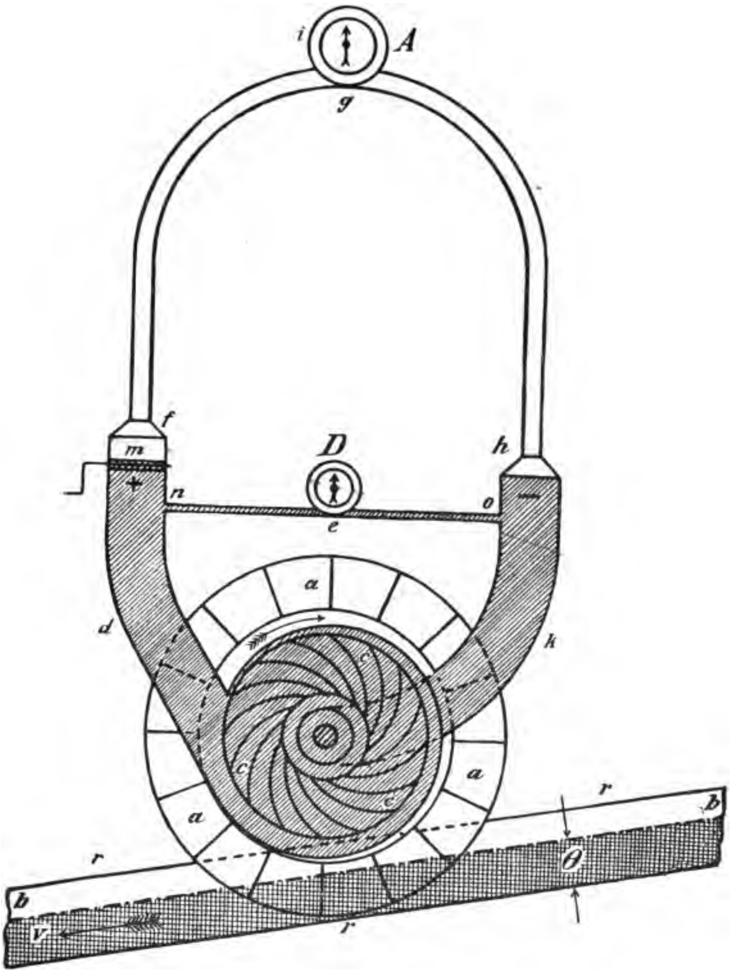

Fig. 26.

Hauptrohrleitung den äußeren Teil des elektrischen Stromkreises und das in der Leitung befindliche Meßinstrument *i* ein Instrument zur Messung der elektrischen Stromstärke, einen Strommesser, vorstellen. Die sehr feine Leitung n—o bezeichne eine feine elektrische Nebenschlußleitung, worin das Instrument e einen elektrischen Druck- oder Spannungsmesser vorstelle. Der Wasserstrom in der Hauptschluß- und der Nebenschlußleitung stelle den elektrischen Strom vor. Die positive Polklemme der Elektrizitätsquelle denke man sich bei f—n und die negative bei h—o gelegen; bei jener herrscht Druck und bei dieser Saugung. Schließlich lassen wir die Höhe des Wassers in der Rinne r—r—r die magnetische Dichte $\mathbf{\Theta}$, die Geschwindigkeit v des Wassers diejenige Geschwindigkeit, mit welcher das magnetische Feld den elektrischen Leiter passiert, und die Breite l des Wasserrades die effektive Länge des elektrischen Leiters vorstellen.

Wenn man sich nun die Pumpe mit normaler Geschwindigkeit und mit dem Ventil m geschlossen (= offenem elektrischem Stromkreis) in Tätigkeit versetzt denkt, ersieht man, daß das Wasser nicht in Bewegung gebracht werden kann, wohl aber daß vor dem geschlossenen Ventil ein hydrostatischer Druck entsteht, der von dem zum Treiben der Pumpe aufgewandten Effekt abhängig ist, und der sich, da er in der Nebenschlußleitung n—o einen feinen, dem vorhandenen Drucke entsprechenden Wasserstrom verursacht, am Meßinstrument e zu erkennen gibt und messen läßt. Dieser Druck entspricht der elektrischen Spannung D zwischen den Polklemmen. Die drückende und saugende Kraft des Schaufelrades der Pumpe ist den Größen l, v und $\mathbf{\Theta}$ direkt proportional und entspricht der elektromotorischen Kraft E (vgl. Art. 71), welche den Druck oder die Spannung D an den Polklemmen hervorbringt. Infolge unvermeidlicher Widerstände wird die Klemmenspannung D stets etwas kleiner sein als die im Inneren der Elektrizitätsquelle induzierte elektromotorische Kraft E. Solange das Ventil m geschlossen bleibt, erzeugt die treibende mechanische Kraft nur einen bestimmten Druck, bezw. nur eine bestimmte Menge potentieller Energie, wenn man von der Kraft absieht, die in der Überwindung von Widerständen und für die Druckmessung bei e verbraucht wird. Wird aber das Ventil m geöffnet (bezw. der elektrische Stromschalter oder der elektrische Stromkreis geschlossen), so setzt sich das Wasser (bezw. die Elektrizität) in kreisende Bewegung, und der Strom gibt sich am Meßinstrument i zu erkennen und kann von diesem gemessen werden. Die Stärke des Wasserstromes (welche die elektrische Stromstärke A repräsentiert) im äußeren

Teil *f—g—h* des hydraulischen Stromkreises ist direkt proportional dem zwischen den Endpunkten *f—n* und *h—o* (welche den Polklemmen entsprechen) herrschenden hydraulischen Drucke (der dem elektrischen Drucke D entspricht) und umgekehrt proportional dem mechanischen Widerstande der Leitung (der dem elektrischen Widerstand R entspricht); d. h. nach dem *Ohmschen* Gesetz $A = D : R$.

Die Figur zeigt nur *eine* Verbindungsleitung zwischen den Punkten *f* und *h,* aber man kann natürlich mehrere solche Leitungen von gleichem oder verschiedenem Widerstand anbringen. Für jede Leitung richtet sich die Stromstärke nach dem zwischen den Endpunkten der Leitung herrschenden Drucke und nach dem Widerstand der Leitung, d. h. in elektrischer Beziehung hat man stets den Ausdruck $A = D : R$, der auch für zwei beliebige Punkte auf dem Stromkreise gilt. Aus der Figur und Beschreibung geht hervor, daß man sich aus der *angenommenen* Analogie zwischen hydraulischen und elektrischen Stromkreisen in gewisser Hinsicht eine annähernde Vorstellung in Betreff der Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische machen kann, sowie auch eine Vorstellung in Betreff manch anderer bei dem elektrischen Stromkreise vorkommenden Erscheinungen.

79. Elektrodynamische Kraft (F_e*).

Elektrodynamische Kraft nennen wir die Kraft, zufolge deren ein Leiter, in welchem elektrischer Strom kreist, in einem magnetischen Felde angezogen oder abgestoßen wird. Aus dem in Artikel 70 Gesagten geht hervor, daß diese Kraft algebraisch ausgedrückt werden kann durch die Gleichung

$$F_e = \mathfrak{f}_b \, l \, A \, \theta$$

oder im C. G. S.-System einfach

$$F_e = l \, A \, \theta \; dyn.$$

Die Dimension der Einheit muß selbstverständlich dieselbe sein, wie die der mechanischen Kraft, welche Dimension sich auch aus der Gleichung ergibt

$$F_e = C \cdot C^{1/2} G^{1/2} S^{-1} \cdot \frac{C\,G\,S^{-2}}{C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}} = C\,G\,S^{-2} = 1 \; dyn\,.$$

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

80. Elektrische Arbeit. Elektrische Energie (W_e*).

Wirkt die anziehende oder abstoßende Kraft F_e konstant (vgl. Art. 79), während der Leiter vermöge einer äußeren Kraft eine Weglänge l_1 bewegt wird, so entspricht dies einer elektrischen Arbeit $\overset{\circ}{W}_e = F_e l$ *erg*, welche durch die äußere, den Leiter bewegende mechanische Kraft F_m verursacht wird, und welche mit der verrichteten mechanischen Arbeit $\overset{\circ}{W}_m = F_m l$ *erg* gleichwertig ist. Da nun $\overset{\circ}{F}_e = l A \Theta$ ist, worin, wie vorher, l die effektive Länge des Leiters, A die Stärke des in dem Leiter kreisenden elektrischen Stromes und Θ die Dichte des magnetischen Feldes bezeichnet, so ergibt sich

$$\overset{\circ}{W}_e = l A \Theta l_1 \, erg$$

und, weil $l l_1 = S$ und $\Theta S = \Phi = E t$ ist, schließlich

$$W_e = \Theta S A = \Phi A = E A t = D A t$$

als algebraische Definition für den Begriff elektrischer Arbeit bezw. elektrischer Energie sowohl in dem **C. G. S.**-System (Ergebnis in Ergs), als auch in dem in der jetzigen Praxis benutzten System (Ergebnis in Volt • Ampère • Sekunden oder Joules).

Aus der zuletzt erwähnten Gleichung $W_e = D A t$ und dem *Ohmschen* Gesetze $A = D : R$ erhält man auch für die elektrische Arbeit und elektrische Energie

$$W_e = \frac{D^2}{R} t = A^2 R t .$$

Im **C. G. S.**-System ist die Einheitsdimension

$$\overset{\circ}{W}_e = A \cdot D \cdot t = \mathrm{C}^{1/2} \mathrm{G}^{1/2} \mathrm{S}^{-1} \cdot \mathrm{C}^{3/2} \mathrm{G}^{1/2} \mathrm{S}^{-2} \cdot \mathrm{S} = \mathrm{C}^2 \mathrm{G} \mathrm{S}^{-2} = 1 \, erg .$$

Diese Einheit wird nicht in der Praxis benutzt, sondern man hat dort eine größere Einheit eingeführt, die *joule* genannt wird, nach James Prescott Joule. Das Joule (= 1 Volt • Ampère • Sekunde) ist 10^7 mal größer als die **C. G. S.**-Arbeits- und Energie-Einheit, das Erg.

Die in der jetzigen Praxis meist gebräuchliche mechanische Arbeitseinheit, das Kilogramm • Meter (*kg* • *mtr* oder *kg* • *m*), ist mit $10^5 \overset{\circ}{g}$ **C. G. S.** mechanischen oder elektrischen Arbeitseinheiten (*erg*) und mit $\frac{10^5 \mathring{g}}{10^7} = 10^{-2} \mathring{g}$ praktischen elektrischen Arbeitseinheiten (*joule*) gleichwertig. Wenn man $\mathring{g} = 980{,}96 = \mathring{g}_P$ ($= \mathring{g}$ in Paris) setzt, wird 1 *kg* • *mtr* = 9,8096 *joule*. Demnach ist auch 1 *joule* $= \frac{100}{\mathring{g}_P} = \frac{100}{980{,}96} \cong 0{,}10194$ *kg* • *mtr*. — Es sei hier der Vollständigkeit wegen auch erwähnt, daß die Wärmeeinheit 1 *cal* (Kalorie) $\cong 428$ *kg* • *mtr* und mit $\cong 428 \times 9{,}8096 \cong 4198{,}50$ *joule* gleichwertig ist.

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

81. Elektrische Leistung oder elektrischer Effekt (P_e*).

Elektrische Leistung oder elektrischer Effekt ist die in der Zeiteinheit verrichtete elektrische Arbeit oder die in der Zeiteinheit umgesetzte elektrische Energie. Es ist somit

$$P_e = \frac{W_e}{t} = E A = D A = \frac{D^2}{R} = A^2 R .$$

Diese Gleichung gilt sowohl für das **C. G. S.**-System (Ergebnis in Ergs per Sekunde), als auch für das jetzige praktische System (Ergebnis in Watts).

Die Dimension der **C. G. S.**-Einheit ist

$$\mathring{P}_e = \frac{W_e}{t} = \frac{\mathrm{C^2\,G\,S^{-2}}}{\mathrm{S}} = \mathrm{C^2\,G\,S^{-3}} = 1 \textit{ erg} \text{ per } \textit{sec}.$$

Die Praxis benutzt diese Einheit nicht, sondern eine größere, die *watt* heißt, nach James Watt. Das Watt (= Volt • Ampère oder Joule : Sekunde) ist 10^7 mal größer als das Erg per Sekunde.

In der gegenwärtigen Praxis benutzt man als Einheit für mechanische Leistung das Kilogramm • Meter per Sekunde (*kg* • *mtr* : *sec*); 1 *kg* • *mtr* : *sec* ist mit $10^5 \mathring{g}$ **C. G. S.**-Einheiten mechanischer oder elektrischer Leistung (*erg* : *sec*) und mit $10^{-2} \mathring{g}$ praktischen Einheiten der Leistung (*watt*) gleichwertig. Setzt man $\mathring{g} = 980{,}96 = \mathring{g}_P$, so wird 1 *kg* • *mtr* : *sec* = 9,8096 *watt* und sonach 1 *watt* $= \frac{100}{\mathring{g}_P} = \frac{100}{980{,}96} \cong 0{,}10194$ *kg* • *mtr* : *sec*. Ferner ist 1 sogen. metrische Pferdestärke (1 $\mathrm{HP_m}$ oder $\mathrm{PS_m}$) von 75 *kg* • *mtr* : *sec* gleich $75 \times 10^{-2} \mathring{g}_P = 75 \times 9{,}8096 = 735{,}72 \cong 736$ *watt*, und ist 1 sogen.

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

englische Pferdestärke (1 HP_e oder PS_e) 33000 englische *foot·pounds:minute* (= 550 *ft · lbs : sec*) gleich (550 × 0,4536 × 0,3048) 9,8096 ≅ 746 *watt.* Die französische mechanische Einheit 1 *poncelet*, nach Jean Viktor Poncelet, entspricht 100 *kg · mtr:sec* und 980,96 *watt.*

Jede *Dynamomaschine*, eine elektrische Maschine, mit welcher mechanische Energie in elektrische oder, umgekehrt, elektrische Energie in mechanische umgewandelt wird, arbeitet mit einem bestimmten Wirkungsgrade.

Bei *Elektrogeneratoren*, die mechanische Energie in elektrische umwandeln, nennt man das Verhältnis der an den Polklemmen in der Zeiteinheit gewonnenen elektrischen Energie ($\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{p}} = \boldsymbol{D}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{p}}$), zuweilen elektrischer Nutzeffekt genannt, zu der an der Riemenscheibe oder Kupplung in der Zeiteinheit zugeführten mechanischen Energie ($\boldsymbol{P}_m$) den *mechanischen* oder *kommerziellen* bezw. *gewerblichen* Wirkungsgrad ($\eta\,\mathsf{c}$) des betreffenden Generators oder mitunter das *mechanische* oder *kommerzielle* Güteverhältnis der betreffenden Energieumwandlung. Der fragliche Begriff heißt in England meistens *mechanical or commercial efficiency* und in Frankreich meistens *rendement industriel ou commercial.* Algebraisch ausgedrückt, ist der fragliche Wirkungsgrad im allgemeinen

$$\eta\,\mathsf{c} = \frac{\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{p}}}{\boldsymbol{P}_m} = \frac{\boldsymbol{D}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{p}}}{\boldsymbol{P}_m}$$

und speziell für das in der Praxis jetzt übliche Maßsystem ($\boldsymbol{D}$ in Volts, $\boldsymbol{A}$ in Ampères und HP_m in Pferdestärken zu 75 *kg · mtr:sec*)

$$\eta\,\mathsf{c} = \frac{\boldsymbol{D}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{p}}}{763\,\mathsf{HP}_m}\,.$$

Bei Elektrogeneratoren nennt man ferner das Verhältnis des an den Polklemmen gewonnenen elektrischen Effektes ($\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{p}} = \boldsymbol{D}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{p}}$) zu dem in den Ankerwicklungen erzeugten Effekte ($\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{a}} = \boldsymbol{E}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{a}}$) den *elektrischen* Wirkungsgrad ($\eta\,\mathsf{e}$). Dieser Begriff heißt auch allgemein auf engl. *electrical efficiency* und auf franz. *rendement électrique.* Es ist algebraisch

$$\eta\,\mathsf{e} = \frac{\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{p}}}{\boldsymbol{P}_{e.\mathfrak{a}}} = \frac{\boldsymbol{D}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{p}}}{\boldsymbol{E}\,\boldsymbol{A}_{\mathfrak{a}}}\,.$$

Bei *Elektromotoren*, die elektrische Energie in mechanische umwandeln, nennt man das Verhältnis des an der Riemenscheibe oder Kupplung gewonnenen mechanischen Effekts (P_m), zuweilen mechanischer Nutzeffekt genannt, zu dem an den Polklemmen zugeführten elektrischen Effekt ($P_{e.\mathfrak{p}} = D\,A_\mathfrak{p}$) den *mechanischen* oder *kommerziellen* Wirkungsgrad des betreffenden Motors. Es ist also

$$\eta_c = \frac{P_m}{P_{e.\mathfrak{p}}} = \frac{P_m}{D\,A_\mathfrak{p}}.$$

Bei Elektromotoren ist der elektrische Wirkungsgrad

$$\eta_e = \frac{P_{e.\mathfrak{a}}}{P_{e.\mathfrak{p}}} = \frac{E\,A_\mathfrak{a}}{D\,A_\mathfrak{p}}.$$

82. Selbstinduktion und gegenseitige Induktion.

a. Selbstinduktion. — Bei jedem elektrischen Stromleiter, in welchem sich die Stromstärke ändert, findet stets eine, wenn auch noch so unbedeutende, selbstinduktive Erscheinung statt, die sich darin zeigt, daß das eigene magnetische Feld des Stromleiters, sobald es sich infolge einer stattfindenden Änderung der Stromstärke in seiner Ausdehnung und Dichte ändert oder in dynamischen Zustand versetzt wird, in demselben Stromleiter Wirkungen hervorruft, die auf das Vorhandensein *elektromotorischer Extrakräfte* und elektrischer *Extraströme* hindeuten, durch welche der Haupt- bezw. Primärstrom mehr oder weniger beeinflußt wird.

Um die Wirkung der Selbstinduktion näher zu erklären, denke man sich eine Gleichstrom erzeugende Elektrizitätsquelle, deren elektromotorische Kraft sich nach Belieben verändern läßt und deren Polklemmen mittels einer äußeren Leitung verbunden sind, um welche ein erhebliches magnetisches Feld, eine beträchtliche Menge magnetischer Energie, infolge des in der Leitung kreisenden elektrischen Stromes erzeugt werden kann. Ist der *wirkliche* oder *metallische* Widerstand des elektrischen Stromkreises R und die elektromotorische Kraft der Elektrizitätsquelle E konstant, d. i. besteht elektrisches-magnetisches Gleichgewicht, so läßt sich die Stromstärke A mit Hilfe des *Ohmschen* Gesetzes

$$A = \frac{E}{R}$$

unmittelbar bestimmen. Bei dem Entstehen und Verschwinden der elektromotorischen Kraft, sowie bei jeder Änderung, Zu- oder

Abnahme, in der Größe derselben wird das Gleichgewicht gestört, wodurch die Stromstärke in jedem Augenblick während der Änderung einen anderen Wert hat, als sich aus dem *Ohmschen* Gesetze ergeben würde, wenn man darin die elektromotorische Kraft für den betreffenden Augenblick einsetzte und die Stromstärke berechnete, denn nach jeder stattgefundenen Veränderung in der elektromotorischen Kraft der Elektrizitätsquelle vergeht immer eine gewisse Zeit, ehe die Stärke des Stromes nachkommt und den der neuen elektromotorischen Kraft entsprechenden Wert erreicht. Diese *Verspätung* oder *Verzögerung* in der Stärke des Stromes rührt wahrscheinlich daher, daß eine gewisse Zeit nötig ist, um die elektrische und insbesondere die magnetische Trägheit zu überwinden, um die elektrische Energie in magnetische umzusetzen, falls die elektromotorische Kraft der Elektrizitätsquelle zunimmt, oder die magnetische Energie in elektrische umzusetzen, falls die elektromotorische Kraft abnimmt, oder auch, um den die Leitung umgebenden Stoff zu magnetisieren und zu entmagnetisieren. Bei einer Leitung von bestimmtem Material und gegebener Länge wird die Verzögerung der Stromstärke am geringsten und unbedeutendsten, wenn die Leitung gerade und von einem stark diamagnetischen Stoffe umgeben ist, weil sich dann nur eine sehr geringe Menge magnetischer Energie um die Leitung ansammeln kann. Die Verzögerung wird dagegen recht bedeutend, wenn die Leitung von einem stark paramagnetischen Stoffe umgeben ist, oder wenn sie in Form von einem Solenoid oder einer Spule auf einen Kern, Ring o. dgl. von stark paramagnetischem Stoffe, z. B. Eisen, gewickelt wird, weil sich dann eine beträchtliche Menge magnetischer Energie um die Leitung oder in dem Solenoid ansammeln kann.

Die um eine elektrische Leitung oder neben einer solchen angesammelte magnetische Energie hat das Bestreben, wieder in elektrische Energie überzugehen und einen Rückwärtsstrom hervorzurufen, d. i. einen Extrastrom von entgegengesetzter Polarität oder Richtung zu der des Hauptstromes, des Ursprungsstromes, welcher seine unmittelbare Ursache in der elektromotorischen Kraft der Elektrizitätsquelle hat, und welcher das magnetische Feld der Leitung erzeugt oder erzeugt hat. Man hat also auch mit einer zurückwirkenden elektromotorischen Kraft zu rechnen, und die mittelbare Ursache dieser elektromotorischen *Extrakraft*, zumal da dieselbe nicht unmittelbar innerhalb der Elektrizitätsquelle induziert wird, nennt man *Selbstinduktion.* Es ist klar, daß ein wirklicher Rückwärtsstrom nur dann entstehen kann, wenn die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion (E_s) größer als die der Elektrizitätsquelle (E) ist, und das wird der Fall sein, falls diese (E) plötzlich unterdrückt, der Stromkreis ohne Übergangswiderstände geöffnet wird u. s. w.

Mit Hilfe der Figuren 24 und 26 kann man sich eine annähernde Vorstellung von den im obigen geschilderten Erscheinungen machen.

Hat man es mit einem Gleichstrom-Kreise zu tun, in welchem sich die Stromstärke des elektrischen Stromes fortwährend zwischen Null und Maximum ändert, so kann kein elektrisches-magnetisches Gleichgewicht, kein konstantes magnetisches Feld um den Stromleiter entstehen, da die elektromotorische Kraft der Elektrizitätsquelle sich unausgesetzt ändert. Ebenso wird sich auch die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ändern. Die Stärke desjenigen Stromes, der durch die elektromotorische Kraft der Elektrizitätsquelle verursacht wird, wird gegenüber dem entsprechenden Werte der elektromotorischen Kraft unaufhörlich verzögert, woraus folgt, daß die Stromstärke in einem Augenblicke, wo die elektromotorische Kraft einen *Momentanwert* E hat, nicht den Wert $A = E : R$ haben kann, sondern einen Wert haben muß, der $\lesseqgtr E : R$ ist; kleiner, wenn die elektromotorische Kraft der Elektrizitätsquelle zunimmt, aber größer, wenn diese elektromotorische Kraft abnimmt. Läßt man also E und E_s Momentanwerte für denselben Augenblick bezeichnen, so ergibt sich während der Zunahme der elektromotorischen Kraft der Momentanwert der Stromstärke

$$A_{o-\max} = \frac{E - E_s}{R}$$

und während der Abnahme

$$A_{\max-o} = \frac{E + E_s}{R}.$$

Durch jene Erscheinungen bei der Selbstinduktion kommt es einem vor, als ob sich der elektrische Widerstand des Stromkreises änderte; und die Sache läßt sich natürlich auch von einem solchen Gesichtspunkte aus betrachten. In dem Falle lauten die Gleichungen für die momentane Stromstärke während der Zunahme

$$A_{o-\max} = \frac{E}{R + R_s}$$

und während der Abnahme

$$A_{\mathrm{max}-0} = \frac{E}{R - R_s},$$

wenn E den Momentanwert der elektromotorischen Kraft der Elektrizitätsquelle, R den *wirklichen* oder *metallischen* (also konstanten) Widerstand des Stromkreises und R_s einen nur *scheinbaren*, momentanen Widerstand bezeichnet. E und R_s sind selbstverständlich Momentanwerte für einen und denselben Augenblick.

Die in dem elektrischen Stromkreise durch die Selbstinduktion erzeugte elektromotorische Kraft E_s ist gleich der während des Zeitelements dt in dem magnetischen Kreise vor sich gehenden Änderung der Magnetismusstärke $d\Phi$, also

$$E_s = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Das magnetische Feld wird infolge des in der Leitung kreisenden elektrischen Stromes zustande gebracht. Die Beziehung zwischen der Magnetismusstärke Φ und der magnetisierenden Stromstärke A ist aber nicht konstant, sondern von der elektromagnetischen Anordnung und den magnetischen Eigenschaften der benutzten Substanzen abhängig.

Wenn $\mathfrak{f}_s$ einen Koeffizienten bezeichnet, der sowohl die Beschaffenheit der Anordnung, als auch die der Substanzen berücksichtigt, so kann die erwähnte Beziehung zwischen Magnetismus und Strom zum Ausdruck gebracht werden durch die Gleichung

$$\Phi = \mathfrak{f}_s A.$$

Findet aber eine Änderung der Stromstärke dA statt, so tritt auch eine Änderung der Feld- bezw. Magnetismusstärke ein. Daher

$$d\Phi = \mathfrak{f}_s \, dA.$$

Setzt man diesen Ausdruck in die vorletzte Gleichung ein, ergibt sich

$$E_s = \mathfrak{f}_s \frac{dA}{dt}$$

als algebraische Definition der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion. Der Koeffizient $\mathfrak{f}_s$ wird *Selbstinduktionskoeffizient* genannt und kann algebraisch definiert werden durch die Gleichung

$$\mathfrak{f}_s = \frac{d\Phi}{dA} = \boldsymbol{E}_s \frac{dt}{dA}.$$

[Ein Produkt der Form $\boldsymbol{E}t$, $\boldsymbol{E}dt$, könnte *elektrischer Impuls* benannt werden].

Führt man den Ausdruck $\mathfrak{f}_s \frac{dA}{dt}$ anstatt $\boldsymbol{E}_s$ in die Gleichungen

$$A_{\text{o—max}} = \frac{\boldsymbol{E} - \boldsymbol{E}_s}{\boldsymbol{R}} \text{ und } A_{\text{max—o}} = \frac{\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}_s}{\boldsymbol{R}}.$$

ein, so erhält man

$$A = \frac{\boldsymbol{E} \mp \boldsymbol{E}_s}{\boldsymbol{R}} = \frac{1}{\boldsymbol{R}}\left(\boldsymbol{E} \mp k_s \frac{dA}{dt}\right).$$

Die Dimension der Einheit des Selbstinduktionskoeffizienten ist im **C. G. S.**-System

$$\mathring{\mathfrak{f}}_s = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}} = 1 \textit{ maxwell} \text{ per } \mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-Stromeinheit}$$

oder auch

$$\mathring{\mathfrak{f}}_s = \boldsymbol{E}_s : \frac{dA}{dt} = \frac{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2}}{(\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}) : \mathbf{S}}$$

$$= \frac{1 \text{ } \mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-Einheit der elektrom. Kraft}}{1 \text{ } \mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-Stromeinheit per Sekunde}}.$$

Der Dimensionsausdruck der fraglichen Einheit wird immer bis auf **C** vereinfacht, er wird aber infolge solcher Kürzung so gut wie sinnlos. Die Dimension **C** entspricht der Dimension **C** in der Widerstandseinheit $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$.

Die praktische Einheit des Selbstinduktionskoeffizienten heißt *henry*, nach Joseph Henry. Das Henry ist gleich 10^9 **C. G. S.**-Einheiten. Da in der Praxis die Einheit

$$1 \textit{ henry} = \frac{1 \textit{ volt}}{1 \textit{ ampère} \text{ per } 1 \textit{ sec}}$$

ist, so geht daraus hervor, daß der Selbstinduktionskoeffizient für eine bestimmte elektromagnetische Anordnung gleich 1 *henry* wird, falls eine elektromotorische Kraft gleich 1 *volt* induziert wird, wenn sich die Stromstärke in der Leitung um 1 *ampère* per *sec* ändert.

b. Gegenseitige Induktion. — In Artikel 69 unter der Rubrik magnetoelektrische Induktion wurde gezeigt, wie Elektrizität bezw. elektromotorische Kraft in dem einen von zwei nebeneinander liegenden Leitern induziert wird, wenn sich die Stromstärke in dem andern Leiter ändert oder wenn der Strom darin wechselt. In solchen Fällen sagt man, daß die fragliche elektromotorische Kraft infolge *gegenseitiger Induktion* erzeugt wird. Es bezeichne E_m diese elektromotorische Kraft. Wenn während des Zeitelements $d\,t$ auf Grund einer Änderung der Stromstärke $d\,A$ in dem einen Leiter eine Änderung der Magnetismusstärke $d\,\Phi$ vor sich geht, so wird dadurch in dem anderen Leiter eine elektromotorische Kraft

$$E_\mathrm{m} = \frac{d\,\Phi}{d\,t} = \mathfrak{f}_\mathrm{m}\,\frac{d\,A}{d\,t}$$

erzeugt. Hierin bezeichnet $\mathfrak{f}_\mathrm{m}$ den *Koeffizienten der gegenseitigen Induktion*, welcher, wie der Selbstinduktionskoeffizient, von der Form des Stromleiters und den magnetischen Eigenschaften der bei der Anordnung benutzten Substanzen abhängig ist. Die algebraische Definition des Koeffizienten lautet

$$\mathfrak{f}_\mathrm{m} = \frac{d\,\Phi}{d\,A} = E_\mathrm{m}\,\frac{d\,t}{d\,A},$$

und die Einheitsdimension dieses Koeffizienten ist dieselbe wie die des Selbstinduktionskoeffizienten, also im **C. G. S.**-System $\frac{\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}}{\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}} = 1$ *maxwell* per **C. G. S.**-Stromeinheit. In der Praxis wird der numerische Wert des Koeffizienten in Henrys angegeben.

83. Dynamische Elektrizitätsmenge (Q).

Dynamische Elektrizitätsmenge wird durch das Produkt der Stromstärke mit der Zeit, während welcher die Stromstärke wirkt, definiert. Daher

$$Q = A\,t\,.$$

Die Dimension der Einheit im **C. G. S.**-System ist

$$\mathring{Q} = A \cdot t = (\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{S} = \mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,.$$

Die in der Praxis benutzte Einheit heißt *coulomb,* nach Charles Augustin de Coulomb. In diesem Falle ist die

C. G. S.-Einheit größer als die praktische, denn 1 C. G. S.-Einheit ist gleich 10 Coulomb. Anstatt des Coulombs benutzt man zuweilen den analogen Ausdruck Ampère • Sekunde.

84. Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität (C).

Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität eines Körpers (Kondensators, Leiters, Kabels u. s. w.) ist das Verhältnis der Elektrizitätsmenge (der Ladung) zu der Spannung der Ladung. Die Aufnahmefähigkeit ist dem Dielektrizitätskoeffizienten des Isolationsmittels direkt proportional (vgl. Art. 58). Wenn das Isolationsmittel aus trockener Luft besteht, hat man einfach

$$C = \frac{Q}{D} \cdot$$

Wenn $\mathfrak{k}_{\mathfrak{d}}$ (genau dasselbe wie $\mathfrak{kk}_{\mathfrak{b}}$ in Art. 58) den Dielektrizitätskoeffizienten bezeichnet, hat man im allgemeinen

$$C = \mathfrak{k}_{\mathfrak{d}} \frac{Q}{D},$$

und aus dieser Gleichung ergibt sich für den Dielektrizitätskoeffizienten

$$\mathfrak{k}_{\mathfrak{d}} = C \frac{D}{Q} \cdot$$

Die Einheitsdimension der elektrodynamischen Aufnahmefähigkeit oder Kapazität ist im C. G. S.-System (Die Einheitsdimension des Koeffizienten $\mathfrak{k}_{\mathfrak{d}}$ ist I.)

$$\mathring{C} = \mathfrak{k}_{\mathfrak{d}} \cdot \frac{Q}{D} = \mathrm{I} \cdot \frac{(\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{S}}{(\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}} = \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}}$$

$$= 1 \textit{ sec} \text{ per C. G. S.-Widerstandseinheit.}$$

Der Dimensionsausdruck wird, wenn auch nicht gerade sinnlos, so doch zum mindesten schwer verständlich, falls er in der üblichen Form $\mathrm{C}^{-1}\,\mathrm{S}^2$ geschrieben wird. Der Ausdruck $\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}}$ hingegen dürfte leichter zu fassen sein, denn die Aufnahmefähigkeit ist der Zeit, während welcher die Ladung mit einer bestimmten Stromstärke fortgesetzt werden kann, direkt und dem Widerstand umgekehrt proportional, d. i. algebraisch ausgedrückt,

$$C = \mathfrak{t}_d \frac{A t}{A R} = \mathfrak{t}_d \frac{t}{R}\,.$$

In der Praxis benutzt man für die Aufnahmefähigkeit eine andere Einheit, *farad* genannt, nach Michael Faraday. Die C. G. S.-Einheit ist in diesem Falle viel größer als die praktische Einheit, das Farad. Jene ist nämlich 10^9 oder tausendmillionen mal größer als diese.

Die bei der Aufnahmefähigkeit vorkommenden praktischen Einheiten stehen in folgender Beziehung zueinander:

$$1\ \textit{farad} = \frac{1\ \textit{coulomb}}{1\ \textit{volt}}\,.$$

Das Farad ist also die Aufnahmefähigkeit eines Körpers, der mit der Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb zu der Spannung von 1 Volt geladen wird. In vielen praktischen Fällen hat sich indessen auch das Farad als unbequem groß erwiesen, und benutzt man deshalb häufig das Microfarad, den millionten Teil des Farads.

85. Elektrodynamische Dichte (i).

Wenngleich man nicht weiß, ob oder inwiefern sich die Elektrizität, die mittels eines metallischen Leiters (*eines Leiters erster Klasse*) fortgeführt wird, in dem Innern des Leiters bewegt, nimmt man dennoch meistens an, daß dies der Fall ist, zumal da die Berechnung von elektrischen Leitern dadurch gewissermaßen vereinfacht wird. So wird auch die elektrodynamische Dichte, die elektrische Stromdichte, auf die Flächeneinheit des Leiterquerschnittes bezogen, indem man die herrschende Stromstärke (A) durch den Querschnitt des Leiters (S) dividiert. Demnach ergibt sich die einfache Gleichung

$$i = \frac{A}{S}\,.$$

Daß die Elektrizität bei *Leitern zweiter Klasse* oder Elektrolyten auch in dem Innern des Leiters tätig ist und fortgeleitet wird, scheint zweifellos. Vgl. den 89. Artikel.

Im C. G. S.-System ist die Einheitsdimension der Dichte

$$i = \frac{A}{S} = (\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{C}^{-2} = 1\ \text{C. G. S.-Stromstärkeeinheit per } cm^2.$$

Diese Einheit wird nicht in der Praxis benutzt, sondern man rechnet dort in Ampères auf Quadratmillimeter, was einer Einheit $\left(=\frac{1\,\mathit{ampère}}{1\,mm^2}\right)$ entspricht, die 10mal größer als die C. G. S.-Einheit ist.

86. Wechselstromkreise und die Wirkung der Selbstinduktion und Kapazität darin.

In jeder elektrischen Leitung, in welcher Wechselstrom kreist, zeigen sich Erscheinungen sowohl von Selbstinduktion, als auch von Kapazität. Beide können verhindern, daß die Stromstärke mit der elektromotorischen Kraft bezw. der elektrischen Spannung *Phase* (von φασις) hält oder, anders ausgedrückt, daß die Stromstärke gleichzeitig mit der entsprechenden elektromotorischen Kraft ihre Null- und Maximalwerte annimmt. Den Zeitpunkt, in welchem eine veränderliche Größe mit einem bestimmten, in Betracht gezogenen Wert erscheint, oder in welchem sich die veränderliche Größe in einem bestimmten Stadium befindet, nennen wir die *Phase* dieser Größe in Bezug auf den gewählten Nullpunkt der Zeit. Da die Selbstinduktion und die Kapazität ganz entgegengesetzte Wirkungen im Stromkreise hervorbringen, können ihre Wirkungen auch einander aufheben, falls sie gleichwertig sind. Die Wirkung der Selbstinduktion hat aber in der Regel den überwiegenden Einfluß im Stromkreise. Die Selbstinduktion verursacht eine *Phasenverzögerung* oder *Phasennacheilung* bei der Stromstärke gegenüber der elektromotorischen Kraft, wogegen die Kapazität, die elektrische Ladung, eine *Phasenbeschleunigung* oder *Phasenvoreilung* bei der Stromstärke bewirkt. Diese *Phasenverschiebung* oder dieser *Phasenunterschied* ist nicht ausschließlich von theoretischem Interesse, sondern auch von großer praktischer Bedeutung, wie aus dem folgenden näher ersichtlich wird, und sie muß in der Tat fast bei allen Konstruktionen und Vorrichtungen auf dem Wechselstromgebiete mehr oder weniger berücksichtigt werden.

Figur 27 gibt u. a. eine zeichnerische Darstellung der Phasenverschiebung der Werte der Stromstärke in Bezug auf die entsprechenden Werte der elektromotorischen Kraft (bezw. der elektrischen Spannung), wobei angenommen wird, daß sich die Werte der fraglichen Größen A und E (bezw. D) rein *sinoïdal* oder *sinus-*

artig ändern und also *harmonische Funktionen* sind. Die Ordinaten der Sinuskurve (E) stellen einesteils die sich von Augenblick zu Augenblick ändernde elektromotorische Kraft dar, welche in einem Leiter b (bezw. in einer durch diesen Leiter repräsentierten Kombination von mehreren Leitern) induziert wird, wenn derselbe um die Drehungsachse o, zu welcher er parallel gelegen ist, mit unveränderlicher Geschwindigkeit in dem zwischen den Magnetpolen N und S befindlichen magnetischen Felde herumbewegt wird, und die Ordinaten stellen anderenteils die Werte der zwischen zwei beliebigen Punkten an dem Stromkreise hervorgerufenen und auf gleiche Weise sich ändernden elektrischen Spannung dar. Die Ordinaten der zweiten Sinuskurve (A) stellen die entsprechenden Werte der Stromstärke dar, und zwar beispielsweise mit einer Phasenverzögerung von $\varphi = 45^\circ$ infolge Selbstinduktion im Stromkreise. Besäße der Stromkreis keine Selbstinduktion, aber Kapazität, so würde die Stromkurve (A) nicht vom Punkte a oder von irgend einem anderen Punkte, der rechts vom Punkte e liegt, ausgehen, sondern von einem Punkte, der links vom Punkte e liegt. Für den Fall, daß die Selbstinduktion des Stromkreises mit der Kapazität desselben in der Wirkung gleichwertig ist, wird der *Phasenverschiebungswinkel, Phasenverzögerungswinkel* bezw. *Phasenbeschleunigungswinkel,* ersichtlich $\varphi = 0^\circ$.

Die Ordinaten (E_β, E_γ, $E_{\max}$, $A_{\max}$, A_δ u. s. w.) geben die verschiedenen Momentanwerte der elektromotorischen Kraft und Stromstärke an; sie zeigen, wie sich diese Größen im Laufe einer Umdrehung des Leiters b um die Achse o unaufhörlich ändern. Wenn die Winkel in Gradmaß gemessen werden, so ist z. B.

$$E_\beta = E_{\max} \sin\beta\,, \quad E_\gamma = E_{\max} \sin\gamma \text{ u. s. w.}$$

Gewöhnlich werden die Winkel in Bogenmaß gemessen ($0^\circ = 0$, $30^\circ = \frac{\pi}{6}$, $45^\circ = \frac{\pi}{4}$, $60^\circ = \frac{\pi}{3}$, $90^\circ = \frac{\pi}{2}$, $180^\circ = \pi$, $270^\circ = \frac{3\pi}{2}$, $360^\circ = 2\pi$ Radiant), und, da die Winkelgeschwindigkeit $w = \frac{\alpha}{t}$ Radiant per Sekunde und sohin $\alpha = wt$ ist, erhält man dann

$$E_\alpha = E_{\max} \sin\alpha = E_{\max} \sin wt$$

oder im allgemeinen, d. i. für eine beliebige Stellung des Leiters b,

$$E = E_{\max} \sin\alpha = E_{\max} \sin wt\,.$$

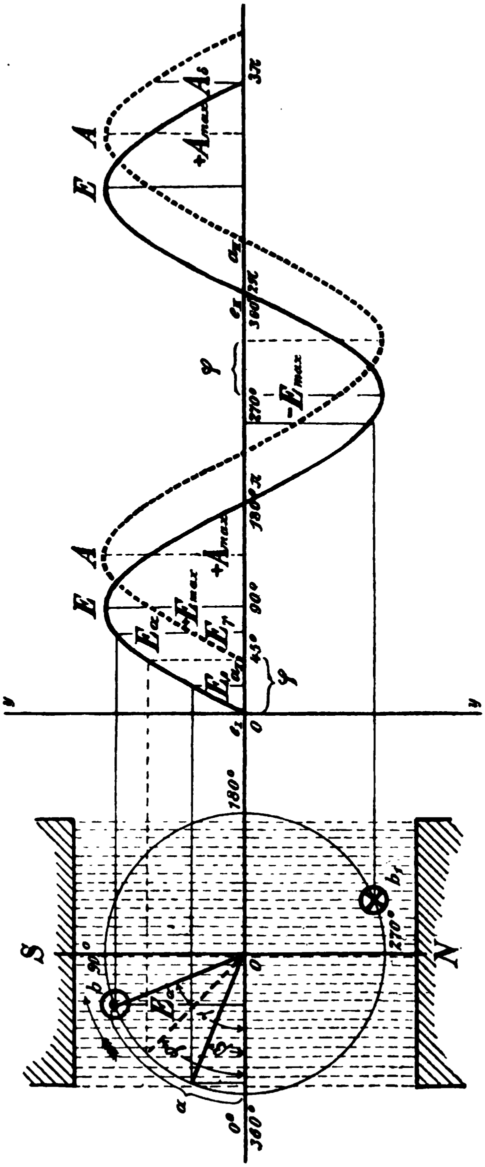
S
N
E
A
E
A
+Amax
Aδ
Emax
Eα
Eβ
Eγ
+Amax
-Emax
φ
φ
0
45°
90°
180° π
270°
360° 2π
3π
c1
cπ
aπ
y
y
a
b 90°
b1
270°
0
180°
0°
360°

Fig. 27.

Die größte Ordinate oder die Amplitude der Sinuskurve stellt den *Maximal-* oder *Scheitelwert* der elektromotorischen Kraft (bezw. der Stromstärke) dar. Die Amplituden in den positiven und negativen Teilen der Kurve sind gleich groß, und die dadurch dargestellten Maximalwerte $+E_{max}$ und $-E_{max}$ (bezw. $+A_{max}$ und $-A_{max}$) sind selbstverständlich auch einander numerisch gleich.

Läßt man den Leiter b eine ganze Umdrehung in dem magnetischen Felde zwischen den zwei Polen machen, bei dem mit 0° bezeichneten Punkte anfangend und dann, wie der Pfeil zeigt, über den mit 90°, 180° und 270° bezeichneten Punkten nach dem Ausgangspunkte (360°) zurück, und konstruiert man auf bekannte Weise die Sinuskurven A und E, die letzte gegenüber der ersteren um $\varphi = 45^0$ verschoben (d. i. die Stromphase gegenüber der Phase der elektromotorischen Kraft um 45° verzögert), so stellt die Abscisse $e_I - e_{II}$ (bezw. $a_I - a_{II}$) die sogen. *Periode* des fraglichen Wechselstromes dar. Bei einer zweipoligen Anordnung, wie die Figur zeigt, entspricht eine Periode einer Umdrehung und erstreckt sich somit über 360 Grad oder 2π Radiant. Während einer vollständigen Periode durchläuft die elektromotorische Kraft und die Stärke des Stromes alle zwischen Null und Maximum mögliche positive und negative Werte. — Es sei bemerkt, daß die Änderungen der Werte der fraglichen Größen, E und A, in Wirklichkeit sehr selten vollkommen sinusartig sind. Aber dennoch nimmt man an, daß sich die Werte, praktisch genommen, sinusartig ändern, zumal da die Eigentümlichkeiten des Wechselstromes mittels der Sinuskurve so bequem anschaulich gemacht und so einfach mathematisch behandelt werden können.

Die Anzahl der Perioden (m) in der Zeiteinheit nennt man die *Frequenz* (f). Es ist also

$$f = \frac{m}{t}\,.$$

Bei zweipoligen elektrischen Maschinen, Maschinen mit nur einem Polpaar (vgl. Fig. 27), sind die Frequenzen und die Umdrehungen (n) einander in der Zahl gleich, also

$$f = n\,.$$

Bei mehrpoligen Maschinen hingegen ist die Frequenz

$$f = n\,\mathsf{N}_p\,,$$

wenn N_p die Anzahl vorhandener Polpaare bedeutet.

In dem Augenblicke, wo der Leiter b während seiner Rotation um die Achse o die mit 180^0 und $\frac{0^0}{360^0}$ bezeichneten Punkte passiert, wechselt die Polarität der elektromotorischen Kraft und des Stromes, woraus folgt, daß 2 *Pol-* oder *Polaritätswechsel* (p) in jeder vollständigen Periode stattfinden. Daher

$$p = 2m.$$

Die Zeit, welche nötig ist, um 1 Periode zu vollenden, heißt *Dauer der Periode* (t_m), und man hat somit

$$t_m = \frac{t}{m} = \frac{1}{f}.$$

Es können die Abscissen (Fig. 27) auch Zeiten darstellen. Zählt man die Zeit von dem angenommenen Ausgangspunkt 0^0 oder e_I (bezw. a_I) aus, so findet man gleich, daß die für die Bewegung des Leiters b gebrauchte Zeit einem unausgesetzt zunehmenden Winkel proportional ist. Es ist

$$t = \frac{a}{w}.$$

Dann gibt die Strecke $e_I - e_{II}$ (bezw. $a_I - a_{II}$) die Dauer der Periode t_m an. Am Schluß der Periode ist $a = 2\pi$, und demnach

$$t_m = \frac{2\pi}{w},$$

woraus

$$w = \frac{2\pi}{t_m}.$$

Aus dieser und der Gleichung $E = E_{max} \sin w t$ ergibt sich

$$E = E_{max} \sin 2\pi \frac{t}{t_m}.$$

Der Ausdruck $2\pi \frac{t}{t_m}$ stellt also einen Winkel vor, der gleich 2π ist, wenn $t = t_m$, und gleich einem Teile von 2π ist, wenn $t < t_m$ ist. Weil die Winkelgeschwindigkeit $w = 2\pi n$ Radiant per Zeiteinheit wird, falls die Rotationsgeschwindigkeit des Leiters b um die Achse o gleich n Umdrehungen per Zeiteinheit ist, ergibt sich ferner

$$E = E_{max} \sin 2\pi n t,$$

und bei zweipoligen Maschinen, da bei diesen $f = n$ ist,

$$E = E_{\max} \sin 2 \pi f t .$$

Bei mehrpoligen Maschinen ist $f = n \, \mathsf{N}_p$ und somit

$$E = E_{\max} \sin 2 \pi n \, \mathsf{N}_p \, t .$$

Sind die Änderungen in der Stärke der elektromotorischen Kraft sinusartig, so werden die Änderungen in der Stärke des elektrischen Stromes natürlich ebenso sein; der Strom folgt denselben mathematischen Gesetzen wie die elektromotorische Kraft. Für die Stromstärke ergeben sich deshalb Gleichungen, welche mit denjenigen analog sind, die im vorhergehenden für die elektromotorische Kraft aufgestellt wurden. Man hat also

$$A = A_{\max} \sin w t = A_{\max} \sin 2 \pi f t \text{ u. s. w.}$$

Wenn E, wie in den obigen Gleichungen, die in einem bestimmten Augenblicke herrschende (momentane) elektromotorische Kraft bezeichnet, und wenn man deren Wert und außerdem den Wert des *wirklichen* (*metallischen*) Widerstandes R in dem fraglichen Stromkreise kennt, so kann man, falls keine andere (z. B. infolge Selbstinduktion und Kapazität erzeugte) elektromotorische Kräfte in dem Stromkreise tätig sind, mit Hilfe des *Ohmschen* Gesetzes die entsprechende Stromstärke unmittelbar berechnen; es ist

$$A = \frac{E}{R} = \frac{E_{\max} \sin \alpha}{R} = \frac{E_{\max} \sin w t}{R} = \frac{E_{\max} \sin 2 \pi f t}{R} .$$

In diesem Falle besteht keine Phasenverschiebung zwischen E und A, beide Größen durchlaufen gleichzeitig ihre Null- und auch gleichzeitig ihre Maximalwerte und nicht, wie Figur 27 zeigt, zu verschiedenen Zeiten. — Für den besonderen Fall, daß $R = 1$ ist, wird der Maximalwert der Stromstärke gleich dem der elektromotorischen Kraft bezw. der elektrischen Spannung sein, d. h. die Kurven, deren Ordinaten die Änderungen in der Stärke der elektromotorischen Kraft und der des Stromes darstellen, werden kongruent. Ist der numerische Wert von R dagegen $\gtrless$ als 1, wird die Amplitude der Stromkurve ($A_{\max}$) $\lesseqgtr$ als die der Kurve der elektromotorischen Kraft ($E_{\max}$) bezw. die der Spannungskurve ($D_{\max}$), und dies gilt selbstverständlich für alle zwischen Maximum und Null liegende Werte.

Außer den im vorhergehenden erwähnten Maximal- und Nullwerten ($E_{\max}$ und E_{nul}, bezw. $D_{\max}$ und D_{nul}) und Momentanwerten

(E_α, E_β, E_γ, ... oder allgemein E, bezw. D_α, D_β, D_γ, ... oder allgemein D) der elektromotorischen Kraft, bezw. der elektrischen Spannung, und den entsprechenden Werten der Stromstärke ($A_{\max}$ und A_{nul}, sowie A_α, A_β, A_γ, ... A), kommen bei den Wechselstromkreisen noch zwei Werte der betreffenden Größen vor, nämlich der *arithmetische Durchschnitts- oder Mittelwert* (E_{moy}, bezw. D_{moy}, und A_{moy}) und der *Effektivwert* (E_{eff}, bezw. D_{eff}, und A_{eff}).

Der arithmetische Mittelwert würde, theoretisch betrachtet, gleich Null werden, falls man eine ganze Periode in Betracht zieht, weil die positiven Werte den negativen numerisch gleich sind. Man berechnet deshalb den Mittelwert für eine halbe Periode, indem man entweder den Durchschnittswert der sämtlichen positiven Werte nimmt, oder auch den der sämtlichen negativen Werte, welche die veränderliche Größe während einer Periode durchläuft. Da nun die Abscissenachse in Zeitmaß eingeteilt ist, wird die Fläche, welche durch die einer halben Periode entsprechende Kurve und die zugehörige Abscisse $\left(t = \frac{t_m}{2}\right)$ eingeschlossen ist, entweder einen *elektrischen Impuls* $= E_{\text{moy}} \frac{t_m}{2}$, oder auch eine Elektrizitätsmenge $= A_{\text{moy}} \frac{t_m}{2}$ darstellen, je nachdem man eine Kurve der elektromotorischen Kraft oder eine solche der Stromstärke in Betracht gezogen hat. — Weil die Werte der elektromotorischen Kraft und Stromstärke sich von Augenblick zu Augenblick ändern, können sie nur für einen Moment oder während einer unendlich kurzen Zeit dt als konstant angesehen werden. Für ein solches Zeitelement ist der Wert des elektrischen Impulses $d(Et) = E\,dt$ und somit für die Zeit $t = \frac{t_m}{2}$

$$\left(E_{\text{moy}} \frac{t_m}{2}\right) = \sum E\,dt = \int_0^{\frac{t_m}{2}} E\,dt\,,$$

woraus der Mittelwert der elektromotorischen Kraft

$$E_{\text{moy}} = \frac{2}{t_m} \int_0^{\frac{t_m}{2}} E\,dt\,.$$

So auch für den Mittelwert der Stromstärke

$$A_{\text{moy}} = \frac{2}{t_{\text{m}}} \int_0^{\frac{t_{\text{m}}}{2}} A\, d\, t\,.$$

Unter der Voraussetzung, daß die Größen sinusartig veränderlich sind, erhält man

$$E_{\text{moy}} = \frac{2}{t_{\text{m}}} \int_0^{\frac{t_{\text{m}}}{2}} E_{\text{max}}\, sin\; w\, t\, d\, t = \frac{2}{t_{\text{m}}} \int_0^{\frac{t_{\text{m}}}{2}} E_{\text{max}}\, sin\; 2\, \pi \frac{t}{t_{\text{m}}} d\, t$$

$$= \frac{2}{\pi} E_{\text{max}} = 0{,}6366\, E_{\text{max}}$$

und auf ähnliche Weise

$$A_{\text{moy}} = \frac{2}{\pi} A_{\text{max}} = 0{,}6366\, A_{\text{max}}\,.$$

Solche Meßinstrumente für Wechselstrom, wie der *Webersche* Elektrodynamometer und die *Cardewschen* elektrothermischen Instrumente u. dgl., die vom Richtungswechsel des Wechselstromes unabhängig sind und mit Hilfe von gleichgerichtetem Strome (Gleichstrome) geeicht werden, geben nicht die eben angeführten Mittelwerte E_{moy} (bezw. D_{moy}) und A_{moy} des Wechselstromes, sondern dessen effektive, einem äquivalenten Gleichstrome entsprechende Werte E_{eff} (bezw. D_{eff}) und A_{eff} an. Es würde über die Grenzen dieses Buches hinaus führen, uns auf die Beschreibung, Prinzipe und konstruktiven Anordnungen der Meßinstrumente einzulassen. Es sei deswegen an dieser Stelle in Betreff der Meßinstrumente für Wechselstrom nur erwähnt, daß die Wirkungen und Ausschläge derselben dem Quadrate der Stärke des durch das Instrument fließenden Stromes oder dem Quadrate der an den Polklemmen des Instrumentes herrschenden Spannung proportional sind. — Der effektive Wert der elektromotorischen Kraft E_{eff} bezw. der der Stromstärke A_{eff} wird definiert als *die Quadratwurzel aus dem Mittelwerte der Quadrate von allen den Werten, welche die betreffende veränderliche Größe in einer ganzen Periode annimmt.* Es ist also für die elektromotorische Kraft, sowie für die Stromstärke

$$E_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{t_m}\int_0^{t_m} E^2\,dt \quad \text{und} \quad A_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{t_m}\int_0^{t_m} A^2\,dt,$$

oder, da man annimmt, daß die betreffenden veränderlichen Größen Sinusfunktionen sind,

$$E_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{t_m}\int_0^{t_m} E^2 \sin^2 2\pi\frac{t}{t_m}\,dt = \frac{E_{\max}^2}{2},$$

und

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{E_{\max}^2}{2}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707\,E_{\max},$$

und sonach auch die effektive Stromstärke

$$A_{\text{eff}} = \frac{A_{\max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707\,A_{\max}.$$

Für den Fall, daß keine Phasenverschiebung zwischen der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft vorhanden ist, wird der effektive Wert der elektrischen Leistung

$$P_{\text{e.eff}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}\,\frac{A_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{\max}\,A_{\max}}{2} = E_{\text{eff}}\,A_{\text{eff}}.$$

Bei Wechselstromkreisen kommt aber infolge von extra, außerhalb der Elektrizitätsquelle erzeugten elektromotorischen Kräften häufig Phasenverschiebung vor, wodurch die Sache mehr oder weniger verwickelt wird. Es läßt sich die Leistung indessen im allgemeinen bestimmen, wenn man die Phasenverschiebung φ in Rechnung zieht. Ist eine Phasenverschiebung vorhanden, so liefert das Produkt $E_{\text{eff}}\,A_{\text{eff}}$ nicht mehr die *effektive Leistung* $P_{\text{e.eff}}$, sondern nur eine *scheinbar effektive Leistung* $P_{\text{e.a}}$. Diese scheinbare Leistung ist also

$$P_{\text{e.a}} = E_a\,A_a.$$

Ist aber die Phasenverschiebung bekannt, so kann die effektive Leistung, wie wir im folgenden sehen werden, ermittelt werden durch die Gleichung

$$P_{\text{e.eff}} = P_{\text{e.a}}\cos\varphi = E_a\,A_a\cos\varphi = D_a\,A_a\cos\varphi,$$

wenn E_a, D_a und A_a die *scheinbar effektiven* Werte der elektromotorischen Kraft, der elektrischen Spannung und der Stromstärke bezeichnen.

Wenn die Radien $o\,e_{\text{I}}$ und $o\,a_{\text{I}}$ (Fig. 28) Vektoren der maximalen elektromotorischen Kraft $E_{\max}$ und der maximalen Stromstärke $A_{\max}$ vorstellen, welche mit gleicher und unveränderlicher Geschwindigkeit um den Ursprungspunkt o der festen Koordinatachsen $x\,x$ und $y\,y$ im Sinne des Pfeils rotieren, und welche miteinander einen Winkel $\beta - \gamma = \varphi$ gleich dem Winkel der Phasenverschiebung zwischen den beiden Größen bilden, so stellen die auf die y-Achse bezogenen Projektionen der Vektoren die Momentanwerte der beiden Größen (E und A) für den fraglichen Augenblick dar. Die Zeit, welche der Vektor der elektromotorischen Kraft seit dem Passieren der x-Achse gebraucht hat, um in seine in der Figur angegebene Lage zu gelangen, ist dem *Phasenwinkel* β proportional, und die Zeit, welche der Stromvektor zu dem gleichen Zwecke gebraucht hat, ist dem *Phasenwinkel* γ proportional. In dem Augenblicke, den die Figur zeigt, ist der Momentanwert der elektromotorischen Kraft

$$E_{\text{I}} = E_{\max} \sin \beta$$

und der der Stromstärke

$$A_{\text{I}} = A_{\max} \sin \gamma \,.$$

In demselben Augenblick ist der Momentanwert der Leistung

$$P_{e.\text{I}} = E_{\text{I}} A_{\text{I}} = E_{\max} A_{\max} \sin \beta \sin \gamma \,.$$

Eine Viertelperiode später haben die Vektoren die Lagen $o\,e_{\text{II}}$ und $o\,a_{\text{II}}$ erreicht, die zu den vorhin erwähnten $o\,e_{\text{I}}$ und $o\,a_{\text{I}}$ winkelrecht sind, und man hat, wenn die Vektoren wieder auf die y-Achse projiziert werden, in dem jetzigen Moment für die elektromotorische Kraft

$$E_{\text{II}} = E_{\max} \cos \beta \,,$$

für die Stromstärke

$$A_{\text{II}} = A_{\max} \cos \gamma$$

und für die Leistung

$$P_{e.\text{II}} = E_{\text{II}} A_{\text{II}} = E_{\max} A_{\max} \cos \beta \cos \gamma \,.$$

Nimmt man dann den Mittelwert der Leistungen für die zwei betrachteten Momente, so ergibt sich

$$\begin{aligned}\frac{P_{e.I} + P_{e.II}}{2} &= \tfrac{1}{2} E_{\max} A_{\max} (\sin\beta \sin\gamma + \cos\beta \cos\gamma) \\ &= \tfrac{1}{2} E_{\max} A_{\max} \cos(\beta - \gamma) \\ &= \tfrac{1}{2} E_{\max} A_{\max} \cos\varphi \\ &= E_a A_a \cos\varphi = P_{e.a} \cos\varphi = P_{e.eff}\,.\end{aligned}$$

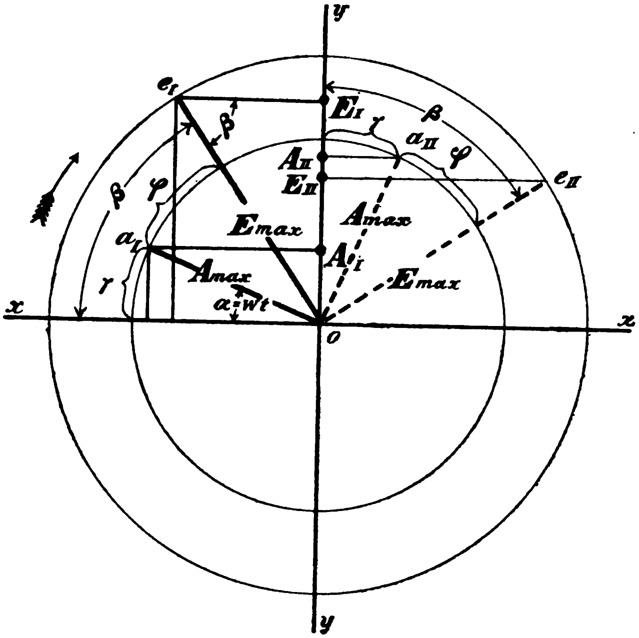

Fig. 28.

Es erhellt hieraus, daß die Leistung nicht von den jeweiligen Größen der Phasenwinkel (β und γ), wohl aber von dem Phasenverschiebungswinkel φ abhängig ist, denn man würde natürlich zu demselben Ergebnis kommen, wie man auch die Anfangslage oder die Winkel β und γ wählte.

Der allgemeine Ausdruck für die effektive Leistung läßt sich auch auf folgende Weise ableiten: — Die während des Zeitelements dt verrichtete Arbeit ist $dW_e = E A dt$ und während einer ganzen Periode

$$W_e = \sum d\,W_e = \sum E A\,dt = \int_0^{t_m} E A\,dt\,.$$

Der Mittelwert der Arbeit in der Zeiteinheit oder die Leistung ist

$$P_e = \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} E A\,dt\,.$$

Wenn die Vektoren $o\,e_1$ und $o\,a_1$ (Fig. 28), wie vorhin, die Maximalwerte der beiden veränderlichen Größen, welche eine Phasenverschiebung φ aufweisen, vorstellen, und wenn man annimmt, daß sich der Vektor $o\,a_1$, indem er sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit w dreht, nach einem Zeitabschnitt t so weit von der über der x-Achse gedachten Anfangslage gedreht hat, daß er mit dieser Achse den Winkel $\alpha = w\,t$ bildet, so ergibt sich für die Stromstärke in dem betreffenden Augenblick die Gleichung

$$A = A_{\max} \sin \alpha = A_{\max} \sin w\,t$$

und für die elektromotorische Kraft

$$E = E_{\max} \sin(\alpha + \varphi) = E_{\max} \sin(w\,t + \varphi)\,.$$

Setzt man diese Werte für A und E in die vorhergehende Gleichung ein, so erhält man wieder für die effektive Leistung

$$P_{e.\mathrm{eff}} = \frac{E_{\max} A_{\max}}{t_m} \int_0^{t_m} \sin(w\,t + \varphi) \sin w\,t\,dt$$

$$= \frac{E_{\max} A_{\max}}{2} \cos\varphi = E_a A_a \cos\varphi = P_{e.a} \cos\varphi\,.$$

Wenn $\cos\varphi = 1$ ist, besteht keine Phasenverschiebung ($\varphi = 0^0$) zwischen der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke, und die Leistung erreicht dann ihren größten Wert. Mit der Zunahme der Phasenverschiebung nimmt die Leistung natürlich ab und wird also $= 0$ sein, falls die Phasenverschiebung den Wert $\varphi = 90^0$ oder $\frac{\pi}{2}$ Radiant erreicht, weil dann $\cos\varphi = 0$ ist. Im Falle, daß die Phasenverschiebung 90 Grad oder eine Viertelperiode ist, leistet der Strom keine Arbeit und wird deshalb *effektloser Strom* oder auch, obgleich sehr unzweckmäßig, *wattloser Strom* genannt.

Der in dem Ausdruck für die effektive elektrische Leistung vorhandene Faktor *cos* φ, dessen Grenzwerte 1 und 0 sind, stellt einen *Leistungskoeffizienten* dar; er wird auch *Leistungsfaktor* genannt. Es ist

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{e.eff}}}{P_{\text{e.a}}} = \frac{P_{\text{e.eff}}}{E_{\text{a}}A_{\text{a}}} \text{ bezw. } \frac{P_{\text{e.eff}}}{D_{\text{a}}A_{\text{a}}} \, .$$

Es wurde bereits erwähnt, daß die Phasenverschiebung auf extra elektromotorischen Kräften beruht, welche außerhalb der eigentlichen Elektrizitätsquelle, der die elektromotorische Ursprungskraft erzeugenden Quelle, des betrachteten Stromkreises erzeugt werden und von Selbstinduktion und Kapazität herrühren.

Zuerst nehmen wir nun an, daß die Phasenverschiebung nur von Selbstinduktion herrührt.

Wenn E_{i}, E_{u} und E_{s} zusammengehörige Momentanwerte bezeichnen und zwar E_{i} den der elektromotorischen Kraft der Elektrizitätsquelle, der *elektromotorischen Grund- oder Ursprungskraft,* E_{s} den der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion und E_{u} den der *elektromotorischen Nutzkraft,* so ist in einem bestimmten Augenblicke (vgl. Art. 82 und siehe auch Fig. 30)

$$E_{\text{i}} = E_{\text{u}} + E_{\text{s}} \, .$$

Unter dem Ausdruck *elektromotorische Ursprungskraft* wird hier diejenige elektromotorische Kraft verstanden, die in dem in Betracht gezogenen Stromkreise induziert werden muß, um einesteils den wirklichen (metallischen) Widerstand R und anderenteils die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion zu überwinden, damit in dem fraglichen Augenblicke eine Stromstärke A_{u} in dem Stromkreise entstehe, die derjenigen gleich ist, welche auf Grund einer elektromotorischen Kraft E_{u} entstehen würde, falls der Stromkreis ohne Selbstinduktion wäre. In einem beliebigen Augenblick ist dann

$$A_{\text{u}} = \frac{E_{\text{u}}}{R} = \frac{E_{\text{i}} - E_{\text{s}}}{R} \, .$$

Die fraglichen elektromotorischen Kräfte besitzen dieselbe Periodendauer. Es bezeichnen $E_{\text{i.max}}$, $E_{\text{u.max}}$ und $E_{\text{s.max}}$ die Maximalwerte dieser elektromotorischen Kräfte. Zwischen $E_{\text{u.max}}$ und $A_{\text{u.max}}$ besteht natürlich keine Phasenverschiebung, und aus dem Vorhergesagten ersieht man leicht, daß $E_{\text{i.max}}$ im Verhältnis zu $A_{\text{u.max}}$ bezw. $E_{\text{u.max}}$ und $E_{\text{s.max}}$ im Verhältnis zu $E_{\text{i.max}}$ Voreilung, Phasenbeschleunigung, hat. Um den Betrag der Phasenverschiebung zwischen $E_{s.\max}$ und $A_{u.\max}$ zu beurteilen, erinnere man sich, daß die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion (vgl. Art. 82) ausgedrückt werden kann durch die Gleichung

$$E_s = \mathfrak{k}_s \frac{d\,A_u}{d\,t}\,.$$

In Figur 29 findet man, daß das Verhältnis $\frac{d\,A_u}{d\,t} = tang\ \varepsilon$ seinen

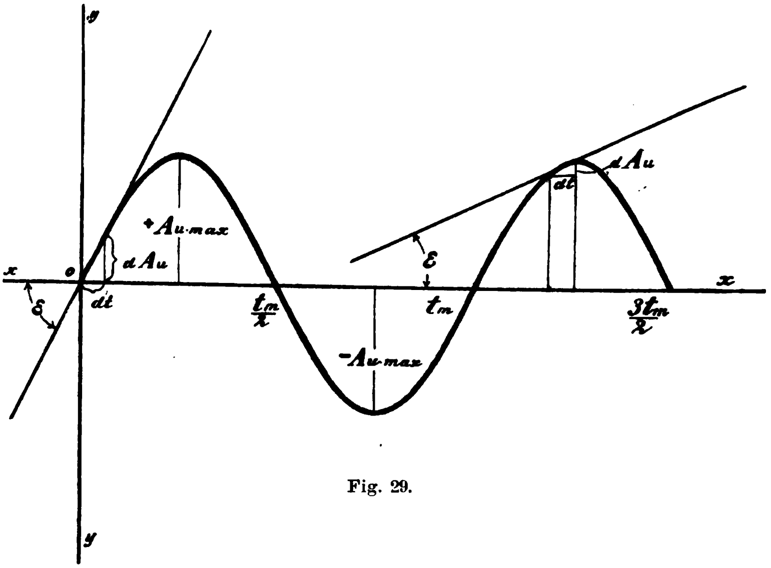

Fig. 29.

größten Wert an der Stelle der Stromkurve hat, wo diese die Abscissenachse schneidet, und seinen kleinsten Wert, gleich Null, an der Stelle, wo die Kurve ihre Amplitude besitzt. Unter der Annahme, daß der Koeffizient der Selbstinduktion und die Winkelgeschwindigkeit konstant sind, wird die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ihren Maximalwert $E_{s.\max}$ in dem Augenblicke haben, wo A_u gleich Null ist. Hieraus folgt, daß die Phasenverschiebung zwischen $E_{s.\max}$ und $A_{u.\max}$ bezw. $E_{u.\max}$ gleich 90 Grad, $\frac{\pi}{2}$ Radiant oder einer Viertelperiode, ist, d. h. $E_{s.\max}$ eilt $A_{u.\max}$ um den erwähnten Betrag voran.

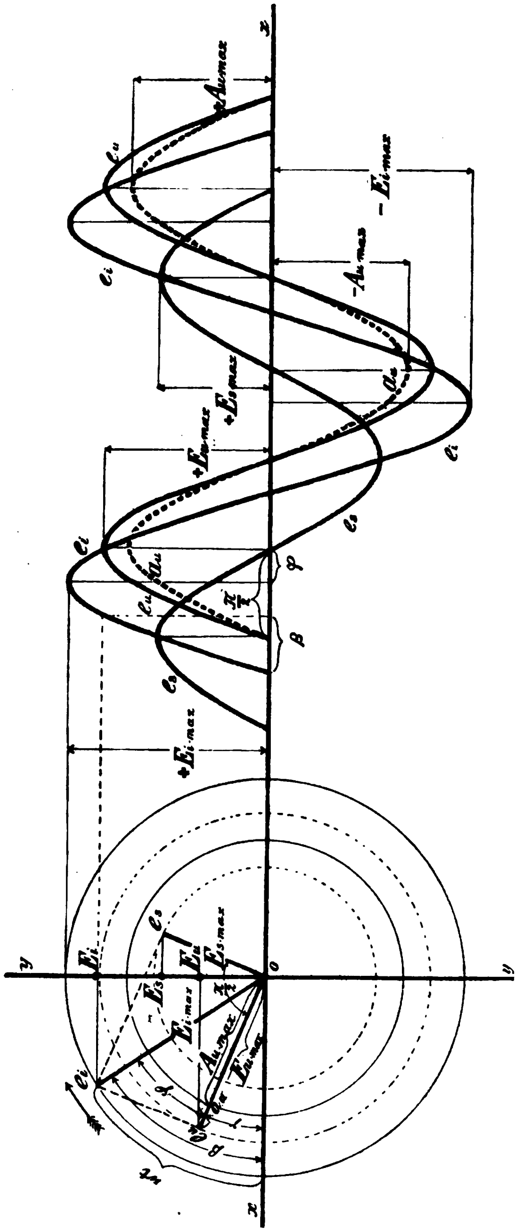
x
$+A_{u\cdot max}$
e_u
$-E_{i\cdot max}$
e_i
$-A_{u\cdot max}$
$+E_{s\cdot max}$
a_u
$+E_{u\cdot max}$
e_i
e_s
e_i
a_u
e_u
φ
$\frac{\pi}{2}$
β
e_s
$+E_{i\cdot max}$
y
E_i
e_s
E_u
$E_{s\cdot max}$
o
y
$-E_s$
$E_{i\cdot max}$
$A_{u\cdot max}$
$E_{u\cdot max}$
$\frac{\pi}{2}$
e_i
δ
a_u
β
φ_u
x

Fig. 30.

Kennt man die Größe von $E_{i.max}$ und die Phasenverschiebung einesteils zwischen $E_{i.max}$ und $A_{u.max}$ und andernteils zwischen $E_{s.max}$ und $A_{u.max}$, so kann man mittels des Parallelogrammes (Fig. 30) $E_{i.max}$ in zwei Komponenten zerlegen und dadurch die Werte von $E_{u.max}$ und $E_{s.max}$ ermitteln. Umgekehrt kann man, wenn $E_{u.max}$ und $E_{s.max}$ nach Größe und Richtung bekannt sind, $E_{i.max}$ als resultierende Kraft der zwei bekannten Kräfte, sowie auch die Phasenverschiebung φ zwischen $E_{i.max}$ und $A_{u.max}$ ermitteln. Wenn die Figuren 28 und 30 verglichen werden, findet man, daß die Bezeichnungen $E_{i.max}$ und $A_{u.max}$ in Figur 30 den Bezeichnungen E_{max} und A_{max} in Figur 28 entsprechen. Demnach entsprechen auch die Bezeichnungen der Momentanwerte E_i und A_u den Bezeichnungen der Momentanwerte E und A. Die Werte der hier in Betracht gezogenen Größen (E_i, E_u, E_s und A_u) ändern sich ebenfalls von Augenblick zu Augenblick und zwar auch sinusartig. Die Kurven e_i, e_u, e_s und a_u zeigen den relativen Verlauf der Änderungen von den vier Größen an, wenn die Vektoren $e_i\,o$, $e_u\,o$, $e_s\,o$ und $a_u\,o$ in der durch den Pfeil angegebenen Richtung mit unveränderlicher Winkelgeschwindigkeit und ihre gegenseitigen Lagen beibehaltend um den Punkt o rotieren.

In dem Augenblicke, den Figur 30 zeigt, sind die momentanen Werte

$$E_i = E_{i.max} \sin w t,$$

$$E_u = E_{u.max} \sin (w t - \varphi),$$

$$E_s = E_{s.max} \sin \left(w t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

und

$$A_u = A_{u.max} \sin (w t - \varphi).$$

Da die Maximalwerte der elektromotorischen Kräfte die Seiten in einem rechtwinkeligen Dreiecke bilden, so ist

$$E^2_{i.max} = E^2_{u.max} + E^2_{s.max},$$

und, da die effektiven Werte in einer analogen Weise zusammengestellt werden können,

$$E^2_{i.eff} = E^2_{u.eff} + E^2_{s.eff}.$$

Ferner findet man, daß

$$E_{u.max} = E_{i.max} \cos \varphi$$

und

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}} = \boldsymbol{E}_{\mathrm{i.max}} \sin \varphi = \boldsymbol{E}_{\mathrm{u.max}} \operatorname{tang} \varphi ,$$

woraus folgt

$$\cos \varphi = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u.max}}}{\boldsymbol{E}_{\mathrm{i.max}}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u.eff}}}{\boldsymbol{E}_{\mathrm{i.eff}}} ,$$

$$\sin \varphi = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}}}{\boldsymbol{E}_{\mathrm{i.max}}}$$

und

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}}}{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u.max}}} .$$

Nach dem *Ohmschen* Gesetze ist die Stromstärke

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{u}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u}}}{\boldsymbol{R}} .$$

Man hat auch

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u.max}}}{\boldsymbol{R}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{i.max}} \cos \varphi}{\boldsymbol{R}}$$

und

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{u.eff}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{u.eff}}}{\boldsymbol{R}} = \frac{\boldsymbol{E}_{\mathrm{i.eff}} \cos \varphi}{\boldsymbol{R}} .$$

Projiziert man $\boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}}$ und $\boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}}$ auf die y-Achse, werden die Projektionen

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{u}} = \boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}} \sin (\boldsymbol{w}\, \boldsymbol{t} - \varphi)$$

und

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{s}} = \boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}} \cos (\boldsymbol{w}\, \boldsymbol{t} - \varphi) .$$

Wenn der Koeffizient der Selbstinduktion $\mathfrak{f}_{\mathrm{s}}$ und die Winkelgeschwindigkeit $\boldsymbol{w}$ konstant sind, erhält man für den Maximalwert der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{s.max}} = \mathfrak{f}_{\mathrm{s}}\, \boldsymbol{w}\, \boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}} .$$

Setzt man diesen Wert in die vorhergehende Gleichung ein, so ergibt sich

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{s}} = \mathfrak{f}_{\mathrm{s}}\, \boldsymbol{w}\, \boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}} \cos (\boldsymbol{w}\, \boldsymbol{t} - \varphi) .$$

Da aber

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}} = \frac{\boldsymbol{A}_{\mathrm{u}}}{\sin (\boldsymbol{w}\, \boldsymbol{t} - \varphi)}$$

ist, so ergibt sich ferner, wenn dieser Ausdruck anstatt $\boldsymbol{A}_{\mathrm{u.max}}$ in die vorhergehende Gleichung eingesetzt wird,

$$E_s = \mathfrak{t}_s\, w\, A_u \cot (w\, t - \varphi)\,.$$

Für die maximalen Werte der drei betrachteten elektromotorischen Kräfte können dem *Ohmschen* Gesetze gemäß die folgenden Gleichungen aufgestellt werden:

$$E_{u.\max} = A_{u.\max}\, R\,,$$

$$E_{s.\max} = A_{u.\max}\, \mathfrak{t}_s\, w = A_{u.\max}\, R_s\,,$$

$$E_{i.\max} = A_{u.\max}\, R_i\,,$$

wenn $\mathfrak{t}_s w = R_s$ als ein *scheinbarer Widerstand infolge der Selbstinduktion*, Selbstinduktions-Widerstand (Induktanz; zuweilen auch induktiver Widerstand genannt), betrachtet wird, und wenn man

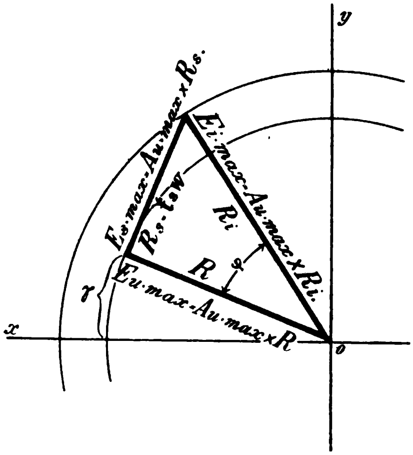

Fig. 31.

den *wirklichen* (metallischen) Widerstand des Stromkreises mit R und den aus R und R_s *resultierenden* Widerstand (Impedanz) mit R_i bezeichnet. Der letzterwähnte Widerstand wird in der Regel scheinbarer Widerstand genannt, obwohl der Ausdruck zu dem Zwecke vielleicht weniger gut paßt.

Was den Wert des resultierenden Widerstandes R_i anbetrifft, findet man in den Figuren 30 und 31, daß

$$(A_{u.\max}\, R_i)^2 = (A_{u.\max}\, R)^2 + (A_{u.\max}\, \mathfrak{t}_s\, w)^2$$

und folglich daß

$$R_i^2 = R^2 + \mathfrak{t}_s^2\, w^2$$

ist, woraus

$$R_i = \sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}\,.$$

Außerdem findet man

$$\mathfrak{f}_s\, w = \sqrt{R_i^2 - R^2} = R_s$$

und

$$R = \sqrt{R_i^2 - \mathfrak{f}_s^2\, w^2}\,.$$

Aus Fig. 31 ist auch zu ersehen, daß

$$cos\, \varphi = \frac{R}{R_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}}\,,$$

$$sin\, \varphi = \frac{\mathfrak{f}_s\, w}{R_i} = \frac{\mathfrak{f}_s\, w}{\sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}}\,,$$

$$tang\, \varphi = \frac{\mathfrak{f}_s\, w}{R} = \frac{R_s}{R}$$

ist.

Da nun

$$R = R_i\, cos\, \varphi$$

und

$$A_{u.eff} = \frac{E_{i.eff}\, cos\, \varphi}{R}\,,$$

so folgt daraus

$$A_{u.eff} = \frac{E_{i.eff}}{R_i} = \frac{E_{i.eff}}{\sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}}\,.$$

Nun ist ferner

$$R = R_i\, cos\, \varphi = \sqrt{R^2 = \mathfrak{f}_s^2\, w^2}\, cos\, \varphi$$

und

$$E_u = E_{u.max}\, sin\, (w\, t - \varphi)\,,$$

woraus sich dann nach dem *Ohmschen* Gesetze ergibt

$$A_u = \frac{E_u}{R} = \frac{E_{u.max}\, sin\, (w\, t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}\, cos\, \varphi}$$

und schließlich, da

$$E_{u.max} = E_{i.max}\, cos\, \varphi$$

ist, die Gleichung

$$A_u = \frac{E_{i.max}\, sin\, (w\, t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + \mathfrak{f}_s^2\, w^2}} = \frac{E_{i.max}\, sin\, (w\, t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + R_s^2}}\,.$$

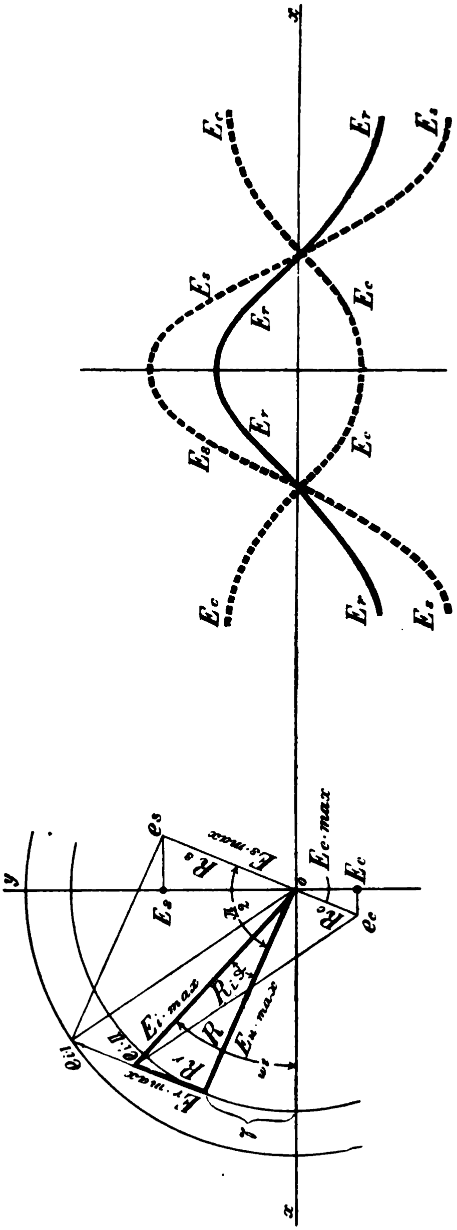
x
E_c
E_r
E_s
E_s
E_r
E_c
E_r
E_s
E_c
E_c
E_r
E_s
y
e_s
$E_{s.max}$
R_s
A_s
E_s
o
$E_{c\cdot max}$
E_c
e_c
R_c
$E_{i\cdot max}$
R_i
$E_{u\cdot max}$
R
e_i
R_r
$E_{r.max}$
e_i
ωt
γ
x

Fig. 32.

In jedem Wechselstromkreise geben sich aber auch größere oder geringere Wirkungen infolge der Kapazität zu erkennen. Wir wollen jedoch hier nur den einfachsten Fall betrachten, nämlich den Fall, wenn ein Kondensator in den Stromkreis eingeschaltet ist. Schon am Anfange dieses Artikels wurde gesagt, daß Selbstinduktion und Kapazität diametrale Wirkungen in dem Stromkreise ausüben, und wir haben gesehen, daß $E_{s.max}$ im Verhältnis zu $A_{u.max}$ eine Voreilung von einer Viertelperiode besitzt. Da nun $E_{c.max}$, die maximale elektromotorische Kraft der Kapazität, eine Wirkung ganz entgegengesetzt zu der von $E_{s.max}$ hat, so wird $E_{c.max}$ im Verhältnis zu $A_{u.max}$ eine Nacheilung von einer Viertelperiode besitzen.

Aus Fig. 32 geht hervor, daß die resultierende zurückwirkende elektromotorische Kraft (elektromotorische Reaktionskraft) in jedem Augenblicke

$$E_r = E_s - E_c$$

sein muß, und daß die Elektrizitätsquelle nunmehr nicht eine der Resultante $o\, e_{\mathrm{i.I}}$ (vgl. die Fig. 32 und 30) entsprechende elektromotorische Kraft ist, sondern eine kleinere, der Resultante $o\, e_{\mathrm{i.II}}$ des Kraftparallelogrammes $o—e_c—e_{\mathrm{i.II}}—e_{\mathrm{i.I}}$ entsprechende. Infolgedessen wird der Winkel der Phasenverschiebung φ zwischen $E_{\mathrm{i.max}}$ und $A_{\mathrm{u.max}}$ auch kleiner, d. h. die Stromstärke wird nun der elektromotorischen Kraft in der Phase weniger nacheilen.

Für die maximalen Werte der elektromotorischen Kräfte ergibt sich jetzt auf Grund des *Ohmschen* Gesetzes

$$E_{\mathrm{u.max}} = A_{\mathrm{u.max}}\, R\,,$$

$$E_{\mathrm{r.max}} = A_{\mathrm{u.max}}\, R_{\mathrm{r}}\,,$$

$$E_{\mathrm{i.max}} = A_{\mathrm{u.max}}\, R_{\mathrm{i}}\,,$$

wenn man mit R_{r} den *scheinbaren Widerstand* (Reaktanz) bezeichnet, welcher

$$R_{\mathrm{r}} = R_{\mathrm{s}} — R_{\mathrm{c}}$$

oder gleich der Differenz der beiden scheinbaren Widerstände R_{s} und R_{c} ist. R_{s} bezeichnet, wie vorhin, den *scheinbaren Widerstand* (oder die *scheinbare Widerstandszunahme*) *infolge der Selbstinduktion* (Induktanz) und $R_{\mathrm{c}} = \frac{1}{L_{\mathrm{c}}}$ den *scheinbaren Widerstand* (oder eigentlich die *scheinbare Widerstandsabnahme*) *infolge der Kapazität*, Kapazitäts-Widerstand (Kapazitanz).

Für die Widerstände R, R_{r} und R_{i} hat man die Beziehung

$$R_{\mathrm{i}}^2 = R^2 + R_{\mathrm{r}}^2\,.$$

Projiziert man $E_{\mathrm{s.max}}$ und $E_{\mathrm{c.max}}$ auf die Ordinatenachse, so werden die Momentanwerte E_{s} und E_{c} in dem Augenblicke, den Figur 32 zeigt, wenn der Koeffizient der Selbstinduktion $\mathfrak{f}_{\mathrm{s}}$, die Kapazität C und die Winkelgeschwindigkeit w unveränderlich sind,

$$E_{\mathrm{s}} = \mathfrak{f}_{\mathrm{s}}\, w\, A_{\mathrm{u.max}} \cos(w\,t — \varphi)$$

und

$$E_{\mathrm{c}} = \frac{A_{\mathrm{u.max}}}{C\,w} \cos(w\,t — \varphi)\,.$$

Da die Phasenverschiebung zwischen $E_{\mathrm{s.max}}$ und $E_{\mathrm{c.max}}$ 180° oder eine halbe Periode ist, so hat man

$$E_{\mathrm{r.max}} = E_{\mathrm{s.max}} — E_{\mathrm{c.max}}\,.$$

Nun ist

$$E_{s.max} = \mathfrak{f}_s\, w\, A_{u.max}$$

und

$$E_{c.max} = \frac{A_{u.max}}{C w},$$

und daraus ergibt sich

$$E_{r.max} = \mathfrak{f}_s\, w\, A_{u.max} - \frac{A_{u.max}}{C w} = A_{u.max}\left(\mathfrak{f}_s w - \frac{1}{C w}\right),$$

woraus dann

$$A_{u.max} = \frac{E_{r.max}}{\mathfrak{f}_s w - \dfrac{1}{C w}} = \frac{E_{r.max}}{R_s - R_c} = \frac{E_{r.max}}{R_r}.$$

Aus Figur 32 ersieht man, daß der resultierende Widerstand

$$R_i = \sqrt{R^2 + R_r^2} = \sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{f}_s w - \frac{1}{C w}\right)^2}$$

ist, und daß der Phasenverschiebungswinkel in folgender Weise ausgedrückt werden kann:

$$\cos\varphi = \frac{R}{R_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{f}_s w - \dfrac{1}{C w}\right)^2}},$$

$$\sin\varphi = \frac{R_r}{R_i} = \frac{\mathfrak{f}_s w - \dfrac{1}{C w}}{\sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{f}_s w - \dfrac{1}{C w}\right)^2}}$$

und

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{R_r}{R}.$$

Da nun

$$R = R_i \cos\varphi = \sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{f}_s w - \frac{1}{C w}\right)^2}\,\cos\varphi$$

und

$$E_{u.max} = E_{i.max} \cos\varphi$$

ist, so erhält man schließlich auf Grund des *Ohmschen* Gesetzes

$$A_u = \frac{E_u}{R} = \frac{E_{i.max}\, sin\,(w\,t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{f}_s w - \frac{1}{C\,w}\right)^2}} = \frac{E_{i.max}\, sin\,(w\,t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + R_r^2}}.$$

Aus dem Vorhergehenden ist ohne weiteres zu ersehen, daß das Produkt $\mathfrak{f}_s w$ mit dem elektrischen Widerstande ($\mathfrak{f}_s w = R_s$) und das Produkt $C w$ mit der elektrischen Leitfähigkeit physikalisch vollkommen analog ist $\left(\frac{1}{C w} = R_c = \frac{1}{L_c}\right)$.

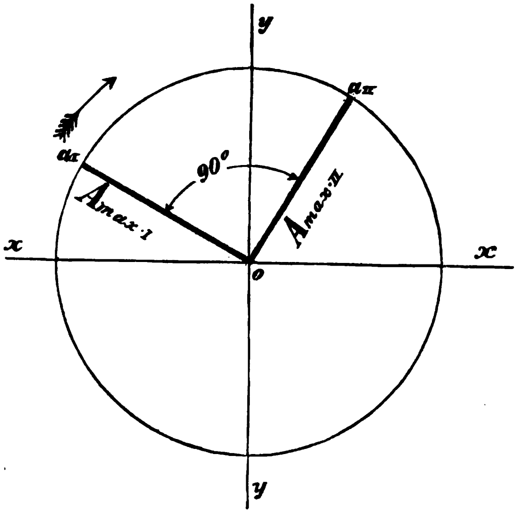

Fig. 33.

Der Wechselstrom, von dem wir im Vorhergehenden gesprochen haben, heißt *einfacher* oder *einphasiger* Wechselstrom. Ein Wechselstromgenerator kann indessen so eingerichtet werden, daß er mehrere, selbständige oder kombinierte (verkettete) Wechselströme erzeugt, und man spricht in solchem Falle von einem *mehrphasigen* Wechselstrom. Figur 33 zeigt ein System von zwei Wechselströmen, ein *Zweiphasensystem*, in welchem die Maximalwerte der Stromstärke $A_{max.I}$ und $A_{max.II}$ (bezw. der elektromotorischen Kräfte $E_{max.I}$ und $E_{max.II}$) um 90 Grad oder $\frac{1}{4}$ Periode in der Phase verschoben sind. Figur 34 zeigt ein System von drei Wechselströmen, ein *Dreiphasensystem*, in welchem die Maximalwerte um 120 Grad verschoben sind. Der dreiphasige (verkettete) Wechselstrom wird meistens, aber eigentlich unzweckmäßig *Drehstrom* genannt.

Man nennt auch die solchen Strom erzeugenden oder die mit solchem Strome arbeitenden Maschinen *Drehstrommaschinen*. Bei diesen Maschinen dreht sich tatsächlich das magnetische Feld. Man hat also ein magnetisches *Drehfeld*, und daher spricht man auch von Drehstrom und Drehstrommaschinen, zumal da die Benennung sehr einfach und bequem ist.

Zu jeder in einem Zwei-, Drei- oder Mehrphasensystem vorkommenden Stromstärke gehört selbstverständlich eine elektromotorische Kraft, und für jedes aus einer elektromotorischen Kraft und einer dazu gehörigen Stromstärke bestehende Größenpaar gilt das, was in diesem Artikel über den einphasigen Strom gesagt wurde.

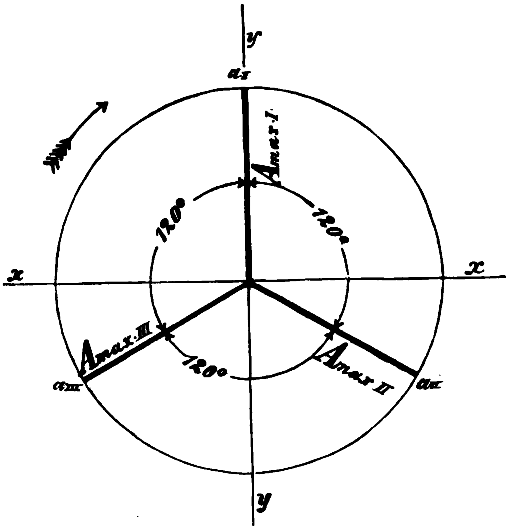

Fig. 34.

In Betreff der physikalischen Dimensionen der Maßeinheiten der Wechselstromgrößen, nämlich der elektromotorischen Kräfte $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{E}_{\mathrm{max}}$, $\boldsymbol{E}_{\mathrm{moy}}$, $\boldsymbol{E}_{\mathrm{eff}}$, $\boldsymbol{E}_{\mathrm{u}}$ u. s. w., der Stromstärken $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{A}_{\mathrm{max}}$, $\boldsymbol{A}_{\mathrm{moy}}$, $\boldsymbol{A}_{\mathrm{eff}}$, $\boldsymbol{A}_{\mathrm{u}}$ u. s. w. und der Widerstände $\boldsymbol{R}$, $\boldsymbol{R}_{\mathrm{i}}$, $\boldsymbol{R}_{\mathrm{s}}$ $(=\mathfrak{k}_{\mathrm{s}}\boldsymbol{w})$, $\boldsymbol{R}_{\mathrm{c}}\left(=\frac{1}{\boldsymbol{C}\boldsymbol{w}}\right)$, $\boldsymbol{R}_{\mathrm{r}}$ u. s. w., sind diese Dimensionen denjenigen gleich, welche für elektromotorische Kraft, elektrische Stromstärke und elektrischen Leitungswiderstand im allgemeinen Geltung haben: im C. G. S.-System also resp. $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2}$, $\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$ und $\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1}$.

87. Wärmeerzeugung des elektrischen Stromes.

Die Wärme, die in einem Leiter erzeugt wird, wenn dieser von einem elektrischen Strome durchflossen wird, besitzt natürlich dieselben Eigenschaften und Wirkungen wie die Wärme im allgemeinen, und sie wird natürlich auch nach demselben Maße gemessen.

Die Wärmeeinheit jedes Maßsystems steht bekanntlich in einem bestimmten Größenverhältnis zu der Arbeits- und Energie-Einheit des Maßsystems. Im **C. G. S.**-System ist das Größenverhältnis der fraglichen Einheiten gleich 1, weil man darin dieselbe Einheit sowohl für die Arbeit, als auch für die Wärme benutzt.

Wird ein Leiter, dessen Widerstand $\boldsymbol{R}$ ist, während einer Zeit $\boldsymbol{t}$ von einem konstanten elektrischen Strom der Stärke $\boldsymbol{A}$ durchflossen, so wird, wenn zwischen den Endpunkten des Leiters eine elektrische Spannung $\boldsymbol{D}$ herrscht, in dem Leiter eine elektrische Arbeit

$$\boldsymbol{W_e = D\,A\,t = \frac{D^2}{R}\,t = A^2\,R\,t = D\,Q}$$

verrichtet. Die Arbeit wird in Joules (in Volt • Ampère • Sekunden) ausgedrückt, wenn $\boldsymbol{D}$ in Volts, $\boldsymbol{A}$ in Ampères, $\boldsymbol{R}$ in Ohms und $\boldsymbol{Q}$ in Coulombs ausgedrückt wird, dagegen aber in Ergs, wenn man $\boldsymbol{D}$, $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{R}$ und $\boldsymbol{Q}$ in den respektiven **C. G. S.**-Einheiten ausdrückt. Angenommen, daß die elektrische Arbeit vollständig in Wärme umgesetzt wird, so wird eine Wärmemenge (vgl. Art. 80)

$$\mathfrak{W}_e \cong \frac{\boldsymbol{D\,A\,t}}{\mathbf{4198{,}50}} \cong \frac{\boldsymbol{D^2\,t}}{\mathbf{4198{,}50}\,\boldsymbol{R}} \cong \frac{\boldsymbol{A^2\,R\,t}}{\mathbf{4198{,}50}} \cong \frac{\boldsymbol{D\,Q}}{\mathbf{4198{,}50}} \text{ Kalorie } (cal)$$

oder

$$\mathfrak{W}_e \cong \mathbf{0{,}23840}\,\boldsymbol{D\,A\,t} \cong \mathbf{0{,}23840}\,\frac{\boldsymbol{D^2}}{\boldsymbol{R}}\,\boldsymbol{t} \cong \mathbf{0{,}23840}\,\boldsymbol{A^2\,R\,t} \cong \mathbf{0{,}23840}\,\boldsymbol{D\,Q}$$

Millikalorie erzeugt. Wünscht man das Ergebnis in Kalorien in der Sekunde (D. i. eine Leistung, ein kalorischer Effekt!) ausgedrückt, so erhält man

$$\left(\frac{\mathfrak{W}_e}{\boldsymbol{t}}\right) = \mathfrak{P} \cong \mathbf{2{,}3840 \times 10^{-4}}\,\boldsymbol{D\,A} \cong \mathbf{2{,}3840 \times 10^{-4}}\,\frac{\boldsymbol{D^2}}{\boldsymbol{R}} \cong$$

$$\mathbf{2{,}3840 \times 10^{-4}}\,\boldsymbol{A^2\,R} \cong \mathbf{2{,}3840 \times 10^{-4}}\,\boldsymbol{P_e} \; \textit{cal} \text{ per } \textit{sec.}$$

Es ist 1 *cal* per *sec* ≅ 428 *kg • mtr : sec*, der Effekt, der erforderlich ist, um die Temperatur von 1 *kg* chemisch reinen Wassers von 0° auf 1° C in einer Sekunde zu erhöhen. In der letzten Gleichung findet man das numerische Verhältnis zwischen *cal* per *sec* und *watt*

$$\mathfrak{P} : P_e \simeq 2{,}3840 \times 10^{-4} ,$$

woraus zu erkennen ist, daß 1 *watt* so viel Wärme erzeugen kann, wie nötig ist, um die Temperatur von $\sim 2{,}3840 \times 10^{-4}$ *kg* reinen Wassers von 0° auf 1° C in einer Sekunde zu erhöhen.

Im **C. G. S.**-System hat man einfach

$$\mathfrak{W}_e = W_e = D\,A\,t \; erg ,$$

und ist die Dimension der Einheit $\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2} = 1 \; erg$.

Die in der jetzigen Praxis benutzte Wärmeeinheit, die Kalorie, ist $\simeq 428 \times 10^5 \, \mathring{g}$ **C. G. S.**-Einheiten gleichwertig.

88. Temperaturzunahme in einem Leiter infolge elektrischen Stromes ($\mathfrak{T}_e$).

Die Temperaturzunahme, die ein Leiter erfährt, wenn man einen Strom von der Stärke A durch ihn fließen läßt, oder wenn man die Stromstärke in ihm um den Betrag A vergrößert, läßt sich einfach annäherungsweise berechnen, falls man die Wärmeausstrahlung außer Betracht lassen kann. Im 40. Artikel findet man $\mathfrak{W}_p = k_p\,G\,\mathfrak{T}$ und im 87. Artikel $\mathfrak{W}_e = \dfrac{A^2\,R\,t}{4198{,}50}$. Da $\mathfrak{W}_p$ und $\mathfrak{W}_e$ gleichartige Größen bezeichnen und nach derselben Maßeinheit gemessen werden, kann man schreiben

$$k_p\,G\,\mathfrak{T} = \frac{A^2\,R\,t}{4198{,}50} ,$$

woraus

$$\mathfrak{T} = \frac{A^2\,R\,t}{4198{,}50\,k_p\,G} = \mathfrak{T}_e .$$

Wenn A in Ampères, R in Ohms, t in Sekunden und G in Kilogrammen ausgedrückt wird, erhält man $\mathfrak{T}_e$ in Graden nach Celsius.

Da $R = \mathfrak{k}_r \dfrac{l}{S}$ und $G = k_G\,V = k_G\,S\,l$ ist, so ergibt sich ferner, falls diese Ausdrücke für R und G in die vorherige Gleichung eingeführt werden,

$$\mathfrak{T}_e = \frac{1}{4198{,}50}\,\frac{\mathfrak{f}_r}{k_\mathfrak{p}\,k_G}\left(\frac{A}{S}\right)^2 t \text{ \textit{Celsius}-Grad,}$$

wenn l in Decimetern, S in Quadratdecimetern und $\mathfrak{f}_r$ in Ohmdecimetern ausgedrückt wird. Will man aber, wie es in der Praxis meistens gebräuchlich ist, S in Quadratmillimetern ausdrücken und den Koeffizienten $\mathfrak{f}_r$ auf Meter und Quadratmillimeter beziehen, so erhält man

$$\mathfrak{T}_e = 0{,}23840\,\frac{\mathfrak{f}_r}{k_\mathfrak{p}\,k_G}\left(\frac{A}{S}\right)^2 t \text{ \textit{Celsius}-Grad.}$$

Im **C. G. S.**-System lautet die Temperaturgleichung einfach

$$\overset{\circ}{\mathfrak{T}} = \frac{A^2 R t}{k_\mathfrak{p}\,G} \text{ \textbf{C. G. S.}-Temperatureinheiten,}$$

woraus die Einheitsdimension $(\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2})\,\mathbf{G}^{-1} = 1$ *erg per grm,* wie in Artikel 39, worin auch erwähnt wurde, daß 1 Temperatureinheit nach Celsius $\simeq 4{,}2 \times 10^7$ **C. G. S.**-Temperatureinheiten ist.

89. Elektrochemie.

Ein elektrochemischer Vorgang, bei welchem die Atome der in dem betreffenden Vorgange teilnehmenden Körper infolge der Wirkung des elektrischen Stromes umgelagert werden, heißt *Elektrolyse* (von ἤλεκτρον und λῦσις).

Bei jeder Elektrolyse muß immer ein flüssiger, gelöster oder geschmolzener, den elektrischen Strom leitender Körper (d. i. *ein elektrischer Leiter zweiter Klasse*) vorhanden sein. Dieser flüssige Körper, die Lösung bezw. die Schmelze, wird *Elektrolyt* (von ἤλεκτρον und λυτόν) genannt und bildet stets einen Teil des elektrischen Stromkreises. Das Gefäß oder der Raum, in welchem die Elektrolyse vor sich geht, in welchem es elektrolysiert wird, nennt man eine *elektrochemische* oder *elektrolytische Zelle* oder auch *ein elektrolytisches Bad,* und die dem Elektrolyte den elektrischen Strom zuführenden Polplatten oder dasjenige, was in einer elektrolytischen Zelle diesen Polplatten entspricht und so den Elektrolyt mit den Zuführungsleitungen der äußeren Stromquelle elektrisch leitend verbindet, *Elektroden* (von ἤλεκτρον und ὁδός), von denen diejenige, die mit dem positiven Pole der Stromquelle in Verbindung steht und also, wie man annimmt, dem Elektrolyte Strom zuführt, *Anode* (ἄνοδος), und diejenige, die mit dem negativen Pole der Stromquelle in Verbindung steht, *Kathóde* (von κάϑοδος) genannt wird. Bei gewissen elektrolytischen Vorgängen können in einer Zelle, einem Bade, mehrere Anoden und Kathoden vorkommen. Der durch den Elektrolyt hindurchgehende Strom zerlegt den Elektrolyt in seine elektropositiven und elektronegativen Bestandteile, *Ionen* (von Ιωνικός). und verschiebt oder umlagert diese Bestandteile vermöge hervorgerufener elektrischer Anziehung und Abstoßung, so daß sich dieselben in eine bestimmte elektrische Reihenfolge dem Wege des elektrischen Stromes entlang ordnen, dadurch verursachend, daß die chemische Beschaffenheit (Konzentration, Reinheit u. s. w.) des Elektrolytes, der benutzten Lösung oder Schmelze, in jedem Punkte auf der Strecke zwischen der Anode und der Kathode eine andere wird. Der Strom kann auch zugleich, je nach der Natur des Vorganges, die Anoden fortwährend lösen oder schmelzen und dadurch dem Elektrolyte unausgesetzt Anodenmaterial zuführen, das alsdann darin zerlegt, gereinigt und im Raume zwischen den Elektroden elektrisch geordnet wird, sowie auch zugleich veranlassen, daß das reine Material, das unmittelbar an den Kathoden sich sammelt (sich abscheidet, gefällt oder niedergeschlagen wird), in derselben Menge, wie es sich von den Anoden abtrennt, fortwährend auf die Kathoden übertragen wird und sich auf dieselben fest ablagert, so daß es mit denselben gleichsam eine zusammenhängende Masse bildet. In dem Elektrolyte finden also Stoffbewegungen statt, indem die elektropositiven Bestandteile, die *Kationen,* des Elektrolytes in der Richtung nach den Kathoden und die elektronegativen Bestandteile, die *Anionen,* des Elektrolytes in entgegengesetzter Richtung, d. i. nach den Anoden, wandern, oder indem Material von den Anoden durch den Elektrolyt auf die Kathoden übertragen wird.

Da die Eigenschaft *elektropositiv* bezw. *elektronegativ* nur relativ ist, kann natürlich ein Stoff, der in einem Vorgange die Kationen bildet, in einem anderen Vorgange die Anionen bilden; aber der Stoff, welcher sich nach den Kathoden, den negativen Elektroden, bewegt, ist in Hinsicht auf seine Stellung in der *elektrochemischen Serie* stets elektropositiv gegenüber dem Stoffe, welcher sich nach den Anoden, den positiven Elektroden, bewegt. Es mag hier auch angeführt werden, daß sich Ionen an jeder Berührungsfläche zwischen zwei in elektrischer Hinsicht genügend verschiedenen Körpern, also ebenfalls an der Berührungsfläche zwischen zwei verschiedenen, nicht vermischten Flüssigkeiten, sammeln, wenn ein elektrischer Strom durch eine solche Berührungsfläche hindurch geht.

Die Elemente wurden schon von Berzelius, einem der ersten Elektrochemiker, in einer *elektrochemischen Serie* aufgestellt: + *H, K, Na, Li, Ba, Sr, Ca, Mg, Be, Y, Al, Zr, Th, Ce, Mn, Zn, Fe, Ni, Co, Cd, Pb, Sn, Bi, U, Cu, Ag, Hg, Pd, Rh, Pt, Ir, Os, Au, Si, Ti, Ta, Te, Sb, C, B, Mo, V, Cr, As, P, Se, I, Br, Cl, F, N, S, O* —. Im Laufe der Zeit hat die Elektrochemie große Fortschritte gemacht und man hat gefunden, daß einigen Elementen eine etwas andere Stellung in der Serie zukommt als die, welche Berzelius ihnen ursprünglich, vor etwa 75 Jahren, gegeben hat. Ob die Reihenfolge der Elemente nunmehr endgültig bestimmt worden ist, läßt sich augenblicklich nicht sicher entscheiden, denn man sieht noch abweichende Angaben darüber.

Die als Elektrolyte dienenden chemischen Verbindungen, wie gelöste und geschmolzene Salze, wässerige Lösungen von Säuren und Basen, verlieren nach und nach ihre elektrolytische Güte, und man muß deshalb von Zeit zu Zeit die in dem Elektrolyte verbrauchten Stoffe ersetzen, damit die elektrolytische Zelle andauernd arbeitsfähig bleibe.

Die Ausdrücke *Elektrolyse, Elektrolyt, Elektrode, Anode, Kathode, Ion, Kation* und *Anion* wurden von Michael Faraday um das Jahr 1834 eingeführt.

Die Elektrizität hat heutzutage eine sehr vielseitige Verwendung zu chemischen Zwecken gefunden, und wird in Besonderheit benutzt:

a. zur Zerlegung oder Zerteilung flüssiger chemischer Verbindungen in deren relativ elektropositive und elektronegative Bestandteile (z. B. Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff) dergestalt, daß sich die Ionen in irgend einer Weise in der Nähe der Elektroden ansammeln, ohne daß sie sich auf diese ablagern oder abscheiden und mit denselben feste Körper bilden;

b. zur Ausscheidung oder Ausziehung eines oder mehrerer Bestandteile einer Lösung in solcher Weise, daß sich das erzielte Produkt auf die eine der Elektroden (in der Regel auf die Kathode) abscheidet und mit derselben eine zusammenhängende Masse bildet, während sich die andere Elektrode in dem Vorgange nicht chemisch betätigt, sondern lediglich die elektrische Verbindung zwischen dem Elektrolyte (der Lösung) und der äußeren Stromleitung herstellt;

c. zur Metallgewinnung (*Elektrometallurgie*), indem das Metall, nachdem das Erz u. s. w. vermöge der Einwirkung des elektrischen Stromes oder auf andere Weise geschmolzen ist, durch den Strom aus der den Elektrolyt bildenden Schmelze an der Kathode abgeschieden wird und sich dort entweder nur ansammelt, oder auch mit dem Kathodenmaterial fest verbindet, je nach der Art des Vorganges, nach welchem die Art und Weise der Mittätigkeit der Anoden ebenfalls bestimmt wird;

d. zur Raffination verschiedener Metalle (*elektrolytische Metallraffination*), wobei das unreine Metall, das in diesem Vorgang als Anode dient, in dem Elektrolyte, einer für den bestimmten Fall geeigneten Lösung, zerlegt und gereinigt wird, als Kation nach der Kathode wandert, um sich an dieser als reines Metall abzuscheiden und sich auf dieselbe fest abzulagern;

e. zur Mischung verschiedener Stoffe, z. B. in der Weise, daß das Anodenmaterial zersetzt und mit Bestandteilen des Elektrolytes vermischt wird, während die Kathode hauptsächlich nur als ein elektrischer Kontaktteil dient (*elektrolytische Herstellung von Farben* u. s. w.);

f. zur Überziehung oder Deckung der Oberfläche verschiedener Gegenstände mit einer verhältnismäßig dünnen Schicht eines besseren Metalles zwecks Erzielung schöneren Aussehens, größerer Haltbarkeit u. s. w. (*Galvanostegie*), bei welchem Vorgange der Gegenstand (die Ware), der überzogen oder gedeckt werden soll, als Kathode benutzt wird, während das Metall, mit dem der Überzug ausgeführt wird, als Anode dient und somit, ungefähr wie beim Raffinieren eines Metalles, sich von der Anode ablöst, um nachher in Form von Kationen durch den Elektrolyt, eine dem vorliegenden Falle angepaßte Lösung, nach der Kathode (der Ware) zu wandern und sich auf dieselbe in gewünschter Stärke haltbar abzusetzen;

g. zur Färbung von Metallgegenständen (*galvanische Färbung*, wie Patinierung, Irisierung u. s. w.), indem man dieselben als Anode benutzt und in eine geeignete Lösung, den Elektrolyt, hineinbringt und als Kathode ein für den betreffenden Vorgang passendes Metall wählt;

h. zur Erzeugung metallischer Gegenstände, z. B. plastischer Sachen (*Galvanoplastik*), wobei die elektrisch leitend gemachte Form in den Elektrolyt, eine dem betreffenden Vorgange angepaßte Lösung, als Kathode hineingebracht wird, und ein Metall, woraus der Gegenstand hergestellt werden soll, als Anode benutzt und durch den Elektrolyt nach der Form geführt wird, wo es sich ablagert und so auf oder in der benutzten Form den erwünschten Gegenstand erzeugt, der nachher von seiner Form auf geeignete Weise abgetrennt wird.

Nach Faraday ist die Stoffmenge, die sich bei einem elektrolytischen Vorgange an den Kathoden ausscheidet bezw. sich von den Anoden ablöst, proportional der wirkenden Stromstärke und der Zeit, während welcher jene Stromstärke wirkt, ferner sind die Mengen, die bei der Elektrolyse verschiedener Stoffe durch denselben Strom in derselben Zeit ausgeschieden bezw. abgelöst werden, einander chemisch äquivalent, d. i. die ausgeschiedenen oder abgelösten Stoffmengen stehen in demselben Verhältnis zueinander, wie die chemischen Äquivalente, die Äquivalentgewichte, der betreffenden Stoffe.

Bei den elektrolytischen Vorgängen werden, wie aus dem Vorhergehenden zu erkennen ist, entweder einzelne Grundstoffe oder Elemente aus chemischen Verbindungen herausgezogen, oder es werden kompliziertere Verbindungen in einfachere zerlegt. Es wird dabei Elektrizität, elektrische Energie, verbraucht (Energie wird gebunden, kinetische Energie wird in potentielle umgesetzt), wogegen bei dem Entstehen einer chemischen Verbindung (Legierungen, Lösungen u. s. w.) Energie frei wird. Diese, die chemische Energie, kann bekanntlich auch zum Teil in elektrische Energie umgewandelt werden (*chemoelektrische Zelle, galvanisches Element, elektrischer Akkumulator* u. s. w.). — Auch hier darf man natürlich nicht vergessen, daß man in der Praxis bei allen Vorgängen, bei welchen Energie aus einer Form in eine andere umgewandelt wird, stets mit einem gewissen Wirkungsgrade zu rechnen hat.

Die Gewichtsmenge G eines Stoffes, welche von einer Stromstärke A in der Zeit t oder von einer dynamischen Elektrizitätsmenge Q bei einem elektrolytischen Vorgange aus einer chemischen Verbindung abgeschieden oder herausgezogen wird, läßt sich mittels der Gleichung

$$G = kk_a \, A \, t = kk_a \, Q$$

berechnen, worin der Koeffizient kk_a das sogen. *elektrochemische Äquivalent* des betreffenden Stoffes ist und die Gewichtsmenge bezeichnet, die in der Zeiteinheit von der Stromeinheit oder, was dasselbe ist, die von der Einheit der Elektrizitätsmenge abgeschieden wird. Wenn, wie üblich, G in Grammen, A in Ampères und t in Sekunden ausgedrückt wird, so muß der numerische Wert des Koeffizienten kk_α Anzahl Gramme per Coulomb darstellen.

Läßt man kk_β das sogen. *chemische Äquivalent* oder

$$\text{Äquivalentgewicht} = \frac{\text{Atomgewicht}}{\text{Valenz der Atome}}$$

des betreffenden Stoffes bedeuten, so kann man den numerischen Wert von kk_α berechnen, da

$$kk_\alpha = 0{,}00001039\ kk_\beta\ grm \text{ per } coulomb$$

ist, wenn der konstante Zifferfaktor das elektrochemische Äquivalent des Wasserstoffes ist und die Gewichtsmenge (*grm*) bezeichnet, welche eine der Einheit gleiche Elektrizitätsmenge (1 *coulomb*) abzuscheiden vermag. Damit ist aber nicht gesagt, daß man, um 1 *grm* Wasserstoff abzuscheiden, immer dieselbe Menge elektrischer Energie braucht, denn jede chemische Verbindung verlangt eine ihrer Natur entsprechende elektrische Spannung.

Aus den beiden angeführten Gleichungen ergibt sich

$$G = 0{,}00001039\ kk_\beta\ Q\ grm.$$

Um den bei einem elektrolytischen Vorgange erforderlichen Strom durch die Zelle oder das Bad hindurchzutreiben, ist im Stromkreise, in dem die Zelle eingeschaltet ist, eine bestimmte elektromotorische Kraft nötig, d. h. an den Polklemmen der Zelle muß eine bestimmte elektrische Spannung vorhanden sein. Die Spannung ist nicht dieselbe bei allen elektrolytischen Vorgängen, sondern für jeden besonderen Fall eine andere, denn die verschiedenen Elektrolyte haben verschiedene elektrische Widerstände bezw. Leitfähigkeiten, und die chemische Kraft, die Kraft, welche die Bestandteile in einer chemischen Verbindung zusammenhält, ist in jeder Verbindung eine andere. Die Spannung an den Polklemmen muß also so groß sein, daß sie nicht nur den Widerstand der Zelle überwinden, sondern auch die elektropositiven Bestandteile der Verbindung von den elektronegativen Bestandteilen trennen und umlagern kann.

Aus dem Vorhergesagten wissen wir, daß bei dieser Trennung und Umlagerung der Atome elektrische Energie in chemische umgewandelt wird; der Vorgang ist also ein *elektrochemischer*. Unterdrückt man die wirkende elektromotorische Kraft der äußeren Stromquelle, während man die Zelle und deren Stromkreis unversehrt läßt, so suchen sich die positiven und negativen Bestandteile wieder zu vereinigen, es wandelt sich ein großer Teil der chemischen Energie in elektrische um, und ein elektrischer Rückwärtsstrom entsteht in dem Stromkreise: die elektrolytische Zelle wirkt als eine Elektrizitätsquelle, und der Vorgang ist nunmehr ein *chemoelektrischer.* Man nennt diese Erscheinung *Polarisation* und die den Rückwärtsstrom erzeugende Ursache die *elektromotorische Kraft der Polarisation* oder die elektromotorische Gegenkraft der elektrolytischen Zelle. — Die obigen Gleichungen haben auch Geltung für *chemoelektrische Vorgänge*, also wenn getrennte Stoffe sich chemisch vereinigen und Elektrizität erzeugen.

Wenn die elektromotorische Gegenkraft $\boldsymbol{E}_p$ und der Widerstand $\boldsymbol{R}$ der Zelle bei einem bestimmten elektrolytischen Vorgange unveränderlich wären und sich genau rechnerisch ermitteln ließen, so würde man auch die bei dem betreffenden Vorgange nötige Klemmenspannung $\boldsymbol{D}$, sowie auch den nötigen elektrischen Effekt $\boldsymbol{P}_e$ unmittelbar berechnen können, denn man hat für die Spannung

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{E}_p + \boldsymbol{A}\boldsymbol{R}$$

und für den Effekt

$$\boldsymbol{P}_e = \boldsymbol{D}\boldsymbol{A} = \boldsymbol{A}(\boldsymbol{E}_p + \boldsymbol{A}\boldsymbol{R}),$$

aber in der Regel läßt sich weder der Wert von $\boldsymbol{R}$, noch der von $\boldsymbol{E}_p$ anders als durch Messungen und Versuche genau ermitteln.

Auf Grund folgender Überlegung kann der numerische Wert von $\boldsymbol{E}_p$ durch Rechnung jedoch für manche Fälle annähernd ermittelt werden.

Ist die Wärmemenge kk_γ, die sich bei der chemischen Vereinigung von einem Element mit einem anderen Element oder von einem Element mit einer Verbindung oder von einer Verbindung mit einer anderen Verbindung entwickelt, oder die chemische Energie, die bei einer solchen Vereinigung in kalorische Energie übergeht, für die Gewichtseinheit des betrachteten Elements oder der betrachteten Verbindung bekannt, so ist die gesamte Wärmemenge $\mathfrak{W}$, die sich bei einem chemoelektrischen Vorgange entwickelt, wenn sich eine Gewichtsmenge $\boldsymbol{G}$ von einem Element oder einer Verbindung mit einem anderen Element oder einer anderen Verbindung chemisch vereinigt

$$\mathfrak{W} = kk_\gamma\, G = kk_\gamma\, \mathbf{0{,}00001039}\, kk_\beta\, Q\,.$$

Wenn G, wie vorher, in *grm* ausgedrückt wird, so muß der Koeffizient kk_γ in *cal* per *grm* oder in *millical* per *grm* ausgedrückt werden, je nachdem man $\mathfrak{W}$ in *cal* oder, wie meistens üblich, in *millical* haben will. Die bei dem Vorgange entwickelte elektrische Energie ist

$$W_e = E_p\, Q \text{ joule}\,,$$

und die dadurch erzeugte Wärmemenge oder kalorische Energie ist

$$\mathfrak{W} \backsim \frac{1000}{428 \times 9{,}8096}\, E_p\, Q \cong \frac{E_p\, Q}{4{,}19850} \text{ millical}\,.$$

Setzt man diesen Ausdruck von $\mathfrak{W}$ dem vorhin gefundenen gleich, so erhält man

$$\frac{E_p\, Q}{4{,}19850} = kk_\gamma\, \mathbf{0{,}00001039}\, kk_\beta\, Q\,,$$

woraus für die elektromotorische Kraft der Polarisation sich ergibt

$$E_p = \mathbf{0{,}000043622}\, kk_\beta\, kk_\gamma \text{ volt}$$

oder, wenn die beiden Koeffizienten zu einem einzigen vereinigt werden $kk_\beta\, kk_\gamma = kk_\delta =$ Äquivalentenwärme (Wärmetönung auf 1 *grm*-Äquivalent) in *millical*,

$$E_p = \mathbf{0{,}000043622}\, kk_\delta \text{ volt}\,.$$

Wenn kk_ε die Wärmetönung der chemischen Verbindung (deren Werte in elektrochemischen Handbüchern zu finden sind) in *millical* und kk_ζ die Valenz der Atome bezeichnet, so läßt sich der numerische Wert des Koeffizienten kk_δ berechnen, denn es ist

$$kk_\beta\, kk_\gamma = kk_\delta = \frac{kk_\varepsilon}{kk_\zeta}\,.$$

In der folgenden Tabelle (III) befinden sich einige nach der obigen Gleichung berechnete approximative Werte der elektromotorischen Kraft, die bei dem Entstehen der als Beispiel angeführten chemischen Verbindungen erzeugt wird und an den Polklemmen der chemoelektrischen Zelle eine entsprechende elektrische Spannung hervorruft.

Spielen sich, wie häufig der Fall ist, in einer und derselben Zelle gleichzeitig zwei Vorgänge ab, wovon der eine Vorgang *chemoelektrischer* Natur ist und somit eine elektromotorische Kraft (E_{er}) und elektrische Energie erzeugt, und der andere Vorgang

Tabelle III.

Chemische Verbindung	Reaktions-Formel	Wärme-tönung	Va-lenz	Äqui-valent-Wärme	Elektromotorische Kraft der Polarisation
	Reaktion in Atomgewicht	kk_ε	kk_ζ	kk_δ	E_p
	grm	*millical*	*eine Zahl*	*millical*	*volt*
		∾		∾	∾
Wasser	H_2, O	68 400	2	34 200	1,492
Bromwasserstoff	H, Br, aq	28 400	1	28 400	1,239
Chlorkalium	K_2, Cl_2, aq	202 400	2	101 200	4,415
Tellurchlorid	Te, Cl_4, aq	97 680	4	24 420	1,065
Kupferoxyd	Cu, O	37 200	2	18 600	0,811
Kupferchlorür	Cu_2, Cl_2	66 000	2	33 000	1,440
Kupferchlorid	Cu, Cl_2, aq	62 700	2	31 350	1,368
Aluminiumchlorid	Al_2, Cl_6, aq	475 500	6	79 250	3,457
Eisenchlorid	Fe_2, Cl_6, aq	255 420	6	42 570	1,857
Silbercyanür	Ag_2, Cy_2	53 400	2	26 700	1,165
Goldchlorid	Au, Cl_3, aq	27 300	3	9 100	0,397

elektrochemischer Natur ist und somit eine elektromotorische Kraft (E_{ver}) und elektrische Energie verbraucht, so muß dieser Umstand bei der Berechnung der Klemmenspannung (D) der Zelle berücksichtigt werden. Wenn der Widerstand der Zelle R und die Stromstärke A ist, so wird die Zelle bei einem chemoelektrischen Vorgange (z. B. ein galvanisches Element des *Daniell*-Typus) an ihren Polklemmen eine elektrische Spannung

$$D_{\text{ch}} = E_{\text{er}} - E_{\text{ver}} - A\,R \text{ volt}$$

zeigen, und bei einem elektrochemischen (elektrolytischen) Vorgange, bei welchem chemische Verbindungen an den Anoden entstehen (Elektrizität wird erzeugt) und an den Kathoden zerlegt oder getrennt werden (Elektrizität wird verbraucht), an ihren Polklemmen eine elektrische Spannung

$$D_{\text{e}} = E_{\text{ver}} + E_{\text{er}} + A\,R \text{ volt}$$

nötig haben. In entsprechender Weise setzen sich die einzelnen Mengen beanspruchter elektrischer Energie zusammen; folglich

$$D_{\text{e}}\,A\,t = E_{\text{ver}}\,A\,t + E_{\text{er}}\,A\,t + A^2\,R\,t \text{ joule}.$$

Die dem Ausdruck $A^2 R t$ entsprechende elektrische Energie wandelt sich hauptsächlich in kalorische Energie, Wärme, um.

Die bereits erwähnte elektromotorische Kraft der sogen. Polarisation ist

$$E_{\mathrm{p}} = E_{\mathrm{ver}} + E_{\mathrm{er}} \ \mathit{volt}\,.$$

Für die elektrochemischen Größen *elektrochemische Kraft, elektrochemische Energie* und *elektrochemisches Äquivalent* sind die Einheitsdimensionen im **C. G. S.**-System:

für die elektrochemische Kraft $\overset{\circ}{F}_{\mathrm{K}} = \mathbf{C\,G\,S}^{-2} = 1\,\mathit{dyn}$,

„ „ „ Energie $\overset{\circ}{W}_{\mathrm{K}} = \mathbf{C}^2\mathbf{G\,S}^{-2} = 1\,\mathit{erg}$

und für das elektrochemische Äquivalent

$$\overset{\circ}{k}k_a = \frac{G}{Q} = \frac{\mathbf{G}}{\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}} = \mathbf{G}\,(\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{-1/2})\,,$$

d. i. 1 Gramm per **C. G. S.**-Einheit der dynamischen Elektrizitätsmenge. Der Dimensionsausdruck für die Einheit des elektrochemischen Äquivalents sollte nicht auf die Form $\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}$ gebracht werden, weil er dann so gut wie sinnlos wird.

H. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

90. Elektromagnete.

Im 69. Artikel unter der Rubrik elektromagnetische Induktion wurde gezeigt, wie Magnetismus in einer Substanz induziert werden kann und wie Elektromagnete entstehen, wenn man Eisen in eine Spule (ein Solenoid) hineinführt, deren Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden.

Für die Herstellung von Elektromagneten benutzt man in der Praxis fast immer Magnetisierungsspulen, *Magnetspulen*, aus isoliertem Kupferdraht und Magnetkerne aus weichem Eisen oder besonderem Elektromagnetstahl; alles von bester Beschaffenheit bezüglich der elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Unter *Magnetkern* versteht man eigentlich nur einen solchen Teil des eisernen Magnetkörpers, des magnetischen Kreises, der innerhalb einer Magnetisierungsspule liegt; die Teile, an denen sich die Polflächen, zwischen welchen das äëromagnetische Feld liegt, befinden, werden *Polschuhe, Polstücke* oder kurzweg nur *Pole,* und der Teil, der bei Magneten mit zwei Kernen diese metallisch und magnetisch verbindet, wird *Magnetjoch* oder *Magnetkernverbindung* genannt. Bei mehrpoligen Dynamomaschinen werden die Magnetkerne nicht paarweise mit einzelnen Jochen ausgeführt, sondern im allgemeinen an einem gemeinsamen Ring, Jochring, befestigt, und die ganze Anordnung (Jochring, Magnetkerne und Polstücke) wird häufig *Magnetkranz* genannt. — Zwei zu einem magnetischen Kreise gehörende Pole nennt man *ein Polpaar.* Gleichwie von einer einzigen Elektrizitätsquelle mehrere elektrische Kreise ausgehen können, so können auch mehrere magnetische Kreise von einer Magnetismusquelle (z. B. einer Magnetisierungsspule) ausgehen.

91. Magnetische Kreise.

Die Figuren 10—14, sowie 18 und 23 können als Beispiele magnetischer Kreise dienen. Der *materielle* magnetische Kreis (vgl. Art. 65) kann aus mehreren Substanzen bestehen; so findet man bei Dynamomaschinen Magnetkerne und Polstücke aus besonderem Magnetstahl, Magnetkernverbindung oder Joch bezw. Jochring aus Gußeisen und Ankerkern aus besonderem Schmiedeeisen hergestellt und außerdem zwischen den Polflächen des Magnetes und der Fläche des Ankerkernes Luft. Da einesteils die einzelnen Substanzen nicht die gleiche magnetische Aufnahmefähigkeit (bezw. die gleiche Leitfähigkeit) besitzen, anderenteils verschiedene magnetische Dichte und verschiedene Verteilung des Magnetismus bisweilen erwünscht ist, so werden die Substanzen, die zum Aufbau des magnetischen Kreises verwendet werden, mit Rücksicht auf ihren bestimmten Zweck dimensioniert.

An Stelle des Ausdruckes *magnetischer Kreis* benutzt man manchmal den dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse weniger angemessenen Ausdruck *magnetischer Stromkreis*, dem Ausdrucke *elektrischer Stromkreis* analog, indem man annimmt, daß sich der Magnetismus längs des Magnetmateriales in ähnlicher Weise bewegt, wie sich die Elektrizität längs der Anordnung, welche man eine elektrische Leitung nennt, bewegt. Auch wenn man annimmt, die Elektrizität gehe von den beiden Polen der Elektrizitätsquelle aus, was jedenfalls auch mit der Wirklichkeit übereinstimmt, so bewegt sich oder strömt doch die Elektrizität tatsächlich ununterbrochen der Leitung entlang, während man wohl kaum annehmen darf, daß der Magnetismus im allgemeinen, wie bereits in Artikel 69 hervorgehoben wurde, der magnetischen Anordnung, dem Magnetismusträger oder sogen. magnetischen Kreise, entlang strömt, sondern sich um den elektrischen Strom führenden Leiter herum ansammelt und sich hier radial bewegt, indem er sich in dem umgebenden Raume, also in dem umgebenden Stoffe, weiter ausbreitet, wenn die elektrische Stromstärke in dem Leiter zunimmt, und sich nach dem Leiter wieder zurückzieht, wenn die Stromstärke abnimmt. Die Bewegungen des Magnetismus können aber augenscheinlich nur dann vollkommen radial und in jeder Richtung gleich weit ausgedehnt sein, wenn die Substanz, die den elektrischen oder magnetisierenden Leiter umgibt und somit den Magnetismus sozusagen in sich aufnimmt, überall um den Leiter herum homogen und symmetrisch ausgedehnt ist. Trifft das nicht zu, so wird das magnetische Feld auch nicht homogen und symmetrisch sein, da sich der Magnetismus dorthin zieht, wo die magnetische Aufnahmefähigkeit am größten ist. — Von einem Magnetismusstrom längs des sogen. magnetischen Kreises kann man allerdings sprechen, wenn der Magnetismus an den Polen oder an anderen Stellen eines Elektromagnets ununterbrochen verbraucht oder abgenommen wird, denn dann sendet die Magnetismusquelle, die magnetisierende Spule, auch ununterbrochen Magnetismus gleichsam von beiden Enden der Spule aus nach der Verbrauchsstelle hin.

92. Magnetismusstärke

$\left(\Phi - \mathbf{eff} - \mathscr{B}\right)$.

In Artikel 67 wurde erwähnt, warum wir den Ausdruck *Magnetismusstärke* an Stelle von *Feldstärke*, *magnetischem Kraftfluß* u. s. w. anwenden, und in Artikel 66, der die Frage der magnetischen Feldstärke in der einen permanenten Magnet umgebenden Luft näher berührt, wurde gezeigt, wie man sowohl die Feldstärke in einem Punkte (Feldstärke im allgemeinen), als auch die in einer Fläche (Magnetismusstärke) bestimmt. Da nun Solenoide, Magnetisierungsspulen, sowie selbstverständlich auch Elektromagnete in dem umgebenden Raume wie permanente Magnete wirken, so läßt sich auch die Feldstärke und Magnetismusstärke bei den Elektromagneten genau so ermitteln wie bei den permanenten Magneten.

Bei gleicher Form und Größe ist die Stärke eines Elektromagnetes von dem Materiale des Magnetkörpers (des Kernes, Joches u. s. w.) und der magnetisierenden Stromstärke abhängig. Kennt man numerisch die magnetischen Eigenschaften des Kernmateriales, so läßt sich die Magnetismusstärke eines Solenoids bezw. eines Elektromagnets annäherungsweise durch Rechnung ermitteln.

Man denke sich ein gleichförmiges gerades Solenoid, das eine Länge l und an den Enden eine Polstärke $+\text{Ш}$ und $-\text{Ш}$ hat. Das magnetische Moment eines solchen Solenoids ist (vgl. Art. 63)

$$\text{Ч} = \text{Ш}\, l .$$

Ist das Volumen des Inneren des Solenoids (des Kernes, der aus Eisen, Luft u. s. w. bestehen kann) V, so wird das spezifische magnetische Moment oder die magnetische Intensität, bis zu dem der Kern des Solenoids magnetisiert ist,

$$\text{Ц} = \frac{\text{Ч}}{V} = \frac{\text{Ш}\, l}{S\, l} = \frac{\text{Ш}}{S},$$

worin S den Querschnitt des Kernes bedeutet. Aus der letzten Gleichung erhält man für die Polstärke

$$\overset{\circ}{\text{Ш}} = \text{Ц}\, S .$$

Die spezifische magnetische Intensität des Solenoidkernes Ц ist von der spezifischen elektrischen Magnetisierung oder Erregung, dem Produkte aus der magnetisierenden Stromstärke A und der Windungszahl $\mathfrak{N}$ des Solenoids dividiert durch die Länge l des Solenoids, und von der spezifischen magnetischen Aufnahmefähigkeit k_μ des Kernmaterials abhängig. Es ist also

$$\overset{\circ}{\text{Ц}} = k_\mu \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} .$$

Setzt man diesen Ausdruck für Ц in die vorherige Gleichung ein, so bekommt man für die Polstärke

$$\overset{\circ}{\text{Ш}} = \text{Ц}\, S = k_\mu \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} S \text{ Einheitspole (C.G.S.-).}$$

Da, wie man aus Artikel 66 ersieht,

$$\overset{2}{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi\,\mathrm{III}\ \mathit{maxwell}$$

ist, so ergibt sich für die Magnetismusstärke eines Solenoids bezw. eines Elektromagnets

$$\overset{\circ}{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi\,k_\mu\frac{A\,\mathfrak{N}}{l}\,S\ \mathit{maxwell}$$

oder, wenn man, wie es in der gegenwärtigen Praxis üblich ist, A in Ampères (1 *ampère* $= 10^{-1}$ **C. G. S.**-Einheit) und die übrigen Faktoren in **C. G. S.**-Einheiten ausdrückt,

$$\boldsymbol{\Phi} = \frac{4\pi}{10}\,k_\mu\frac{A\,\mathfrak{N}}{l}\,S\ \mathit{maxwell}.$$

Es versteht sich von selbst, daß die Dimension der **C. G. S.**-Einheit dieselbe sein muß, wie in den Artikeln 66 und 67 angegeben wurde, also $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1} = 1$ *maxwell.*

93. Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte

$\left(\theta\right.$ — **fitá** — $\left.\Theta\right)$.

Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte ist die Magnetismusstärke, die auf die Flächeneinheit kommt. Es ist somit

$$\overset{2}{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{S} = 4\pi\,k_\mu\,\frac{A\,\mathfrak{N}}{l}\ \mathit{gauss}.$$

Die Einheitsdimension ist, wie aus den Artikeln 66 und 67 hervorgeht, $\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1} = 1$ *gauss*.

94. Elektrische Magnetisierung oder Erregung ($A\,\mathfrak{N}$).

Elektrische Magnetisierung oder Erregung ist das Produkt der magnetisierenden Stromstärke, der Stärke des elektrischen Stromes in den Windungen des Solenoids oder der Magnetspule, mit der Anzahl der Windungen.

Aus der Gleichung

$$\overset{\circ}{\boldsymbol{\Phi}} = 4\pi\,k_\mu\frac{A\,\mathfrak{N}}{l}\,S$$

ergibt sich, da $\Phi : S\boldsymbol{\theta}$ ist, für die Stärke der Magnetisierung, welche nötig ist, um die magnetische Dichte $\boldsymbol{\theta}$ zu erzeugen,

$$\mathring{A}\,\mathfrak{N} = \frac{\boldsymbol{\theta}\, l}{4\pi k_\mu} \text{ Strom} \cdot \text{Windungen (C.G.S.-)}$$

oder, falls A in Ampères ausgedrückt wird,

$$A\,\mathfrak{N} = \frac{10}{4\pi}\,\frac{\boldsymbol{\theta}\, l}{k_\mu} \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen.}$$

Da $\mathfrak{N}$ nur als eine Zahl zu betrachten ist und sonach die Einheitsdimension $\mathbf{I}$ oder $\mathbf{I}_\mathfrak{N}$ hat, so wird die Einheitsdimension der elektrischen Magnetisierung im C.G.S.-System

$$\mathring{A}\,\mathfrak{N} = (\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{I}_\mathfrak{N} = 1 \text{ C.G.S.-Strom} \cdot \text{Windung.}$$

Die in der Praxis benutzte Einheit heißt *Ampère · Windung,* die gleich 10^{-1} C.G.S.-Einheit ist.

Es leuchtet ein, daß die Stärke der Magnetisierung nur von der Summe der elektrischen Ströme in den vorhandenen Windungen abhängig ist. Braucht man z. B. 1000 Ampère · Windungen, so ist es einerlei, ob man 1000 Ampère und 1 Windung oder 1 Ampère und 1000 Windungen oder irgend eine andere Kombination, die das Produkt $A\,\mathfrak{N}$ gleich 1000 macht, in Anwendung bringt.

95. Spezifische elektrische Magnetisierung ($\mathfrak{K}$).

Die spezifische elektrische Magnetisierung ist die Magnetisierung oder Erregung auf die Längeneinheit. Deshalb ist im C.G.S.-System

$$\mathring{\mathfrak{K}} = \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} = \frac{\boldsymbol{\theta}}{4\pi k_\mu} \text{ Strom} \cdot \text{Windungen (C.G.S.-) per } cm$$

und in der Praxis

$$\mathfrak{K} = \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} = \frac{10}{4\pi}\,\frac{\boldsymbol{\theta}}{k_\mu} \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen per } cm.$$

Die Dimension der C.G.S.-Einheit ist

$$\mathring{\mathfrak{K}} = \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} = \frac{(\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})\,\mathrm{I}_\mathfrak{N}}{\mathrm{C}} = 1 \text{ C.G.S.-Strom} \cdot \text{Windung per } cm.$$

96. Magnetische Aufnahmefähigkeit ($\mathfrak{C}$) und spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit (k_μ).

Die magnetische Aufnahmefähigkeit oder magnetische Kapazität, sowie auch die spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit ist bei den verschiedenen Substanzen sehr verschieden, aber sie ist auch nicht bei einer und derselben Substanz konstant, sondern schwankt sehr mit der magnetischen Dichte.

Die spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität ist uns in dem Koeffizienten k_μ der vorangehenden Gleichungen schon begegnet. Der numerische Wert dieses Koeffizienten läßt sich nur experimentell bestimmen. Man nimmt an, daß k_μ für Luft gleich 1 und, praktisch genommen, konstant ist. Bei paramagnetischen Substanzen ist dann $k_\mu > 1$ und bei diamagnetischen < 1.

Aus der Gleichung

$$\mathring{\Phi} = 4\pi k_\mu \frac{A\,\mathfrak{N}}{l} S \textit{ maxwell}$$

(vgl. Art. 92) erhält man als algebraische Definition der spezifischen magnetischen Aufnahmefähigkeit

$$k_\mu = \frac{1}{4\pi} \frac{\Phi}{S} \frac{l}{A\,\mathfrak{N}} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Theta}{\mathfrak{K}}$$

oder, falls die magnetisierende Stromstärke in Ampères ausgedrückt wird,

$$k_\mu = \frac{10}{4\pi} \frac{\Theta}{\mathfrak{K}} .$$

Aus der letzten Gleichung ergibt sich, wie vorhin,

$$\mathfrak{K} = \frac{10}{4\pi} \frac{\Theta}{k_\mu} \cong 0{,}8 \frac{\Theta}{k_\mu} \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen per } cm .$$

Hieraus geht hervor, daß bei Luft, deren spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit gleich 1 und als konstant angenommen wurde, Proportionalität zwischen Θ und $\mathfrak{K}$ besteht, d. h. bei Luft läßt sich die Anzahl der Ampère · Windungen, deren man auf das Centimeter bedarf, um eine bestimmte magnetische Dichte zu erzeugen, bei jedem Dichtegrade, bei jedem Grade magnetischer Sättigung, einfach durch Rechnung unmittelbar ermitteln, und sie ist gleich $\frac{10}{4\pi} \simeq 0{,}8$ des Wertes der angestrebten Dichte. Bei Eisen und anderen stark paramagnetischen Substanzen besteht dagegen keine solche Proportionalität. Es läßt sich hier die für die erheischte Dichte notwendige Erregung auf rechnerische Weise nicht unmittelbar bestimmen, sondern die Berechnung muß sich stets auf eine Reihe numerischer Werte stützen, die man durch Experimente mit den verschiedenen Substanzen gefunden hat.

Bei einem Magnetkern bezw. Magnetkörper von bestimmter Form und bestimmtem Material hängt die erforderliche Anzahl Ampère • Windungen nur von der jeweiligen magnetischen Dichte ab. Schreibt man $\mathfrak{K}$ als Funktion von θ

$$\mathfrak{K} = f\,(\theta) \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen per } cm$$

und ermittelt man, wie die Gebrüder John und Edward Hopkinson gezeigt haben, durch Versuche mit Proben von den in Frage kommenden Materialien eine hinlängliche Reihe zusammengehöriger Werte von $\mathfrak{K}$ und θ und trägt diese Werte in Form von Kurven, *Magnetisierungskurven*, auf, so lassen sich die Berechnungen von Elektromagneten bezw. magnetischen Kreisen mit Hilfe von diesen Kurven ohne Schwierigkeit ausführen und ergeben auch praktisch brauchbare Resultate, vorausgesetzt, daß das zu berechnende Material in der Beschaffenheit genau mit den untersuchten Proben übereinstimmt und daß man den Einfluß der verschiedenen Magnetformen nicht übersieht.

Figur 35 stellt drei Magnetisierungskurven dar, und zwar für Schmiedeeisen, Elektromagnet- (Dynamomaschinen-) Stahl und Gußeisen. An der Hand solcher Kurven gestaltet sich die Berechnung sehr einfach: für jede beliebige Dichte in Gauss kann man aus den Kurven die per Centimeter erforderlichen Ampère • Windungen unmittelbar entnehmen. Die Kurven gründen sich auf Mittelwerte, denn hier hat man keine konstante Werte, zumal da die bezogenen Materialien hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Eigenschaften fast jedesmal etwas anders sind. Aus der Form der Kurven geht deutlich hervor, wie sehr das numerische Verhältnis zwischen θ und $\mathfrak{K}$ während einer ausgedehnteren Magnetisierung von Eisen und Stahl schwankt. Wie bereits erwähnt, nimmt man an, daß die spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit der Luft konstant und gleich 1 ist. Für die Magnetisierung von Luft gilt also die Funktion

$$\mathfrak{K} = \frac{1}{4\pi}\,\theta \text{ Strom} \cdot \text{Windungen (C. G. S.-) per } cm$$

beziehungsweise

$$\mathfrak{K} = \frac{10}{4\pi}\,\theta \simeq 0{,}8\,\theta \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen per } cm,$$

die einer geraden Linie entspricht, welche ebenfalls in Figur 35 mit ihren Abscissenwerten an dem oberen Rande des Quadratnetzes eingezeichnet ist.

Die Dimension der **C. G. S.**-Einheit der spezifischen magnetischen Aufnahmefähigkeit ist

$$k_{\mu} = \frac{1}{4\pi}\,\frac{\theta}{\mathfrak{K}} = \frac{C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}{(C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1})\,I_{\mathfrak{N}}\,C^{-1}} = I.$$

Der Vollständigkeit halber wollen wir an dieser Stelle der üblichen, von Kelvin eingeführten Ausdrücke *Susceptibilität* und *Permeabilität* in Kürze gedenken, obwohl wir dieselben bei unserer Darstellung sonst nicht benutzen. — Wenn ein Eisenstab in ein aëromagnetisches Feld (z. B. als Kern in ein Solenoid), das überall die Stärke θ_P hat, (diese Feldstärke nennt man in den elektrischen Lehr- und Handbüchern gewöhnlich *magnetische* oder *magnetisierende Kraft* und bezeichnet dieselbe mit H) eingeführt wird, und der Eisenstab dabei eine magnetische Intensität $\mathfrak{J}$ erhält, so nennt man das Verhältnis $\frac{\mathfrak{J}}{\theta_P} = k_{\zeta}$, das aber nach der gewöhnlichen Bezeichnungsmethode $\varkappa = \frac{I}{H}$ geschrieben wird, die *Susceptibilität* des Eisens (nach den lateinischen Wörtern *suscipio* und *habilitas* — aufnehmen und Geschicklichkeit). Wenn nun ferner in dem Eisenstabe eine magnetische Dichte θ_S entsteht (gewöhnlich mit B bezeichnet und *Induktion* genannt), so nennt man das Verhältnis $\frac{\theta_S}{\theta_P}$ bezw. $\frac{\theta_{P.2}}{\theta_{P.1}} = k_{\omega}$, das nach der gewöhnlichen Bezeichnungsmethode $\mu = \frac{B}{H}$ geschrieben wird, die *Permeabilität* des Eisens (nach den lateinischen Wörtern *permeo* — durchwandern, hindringen — und *habilitas*).

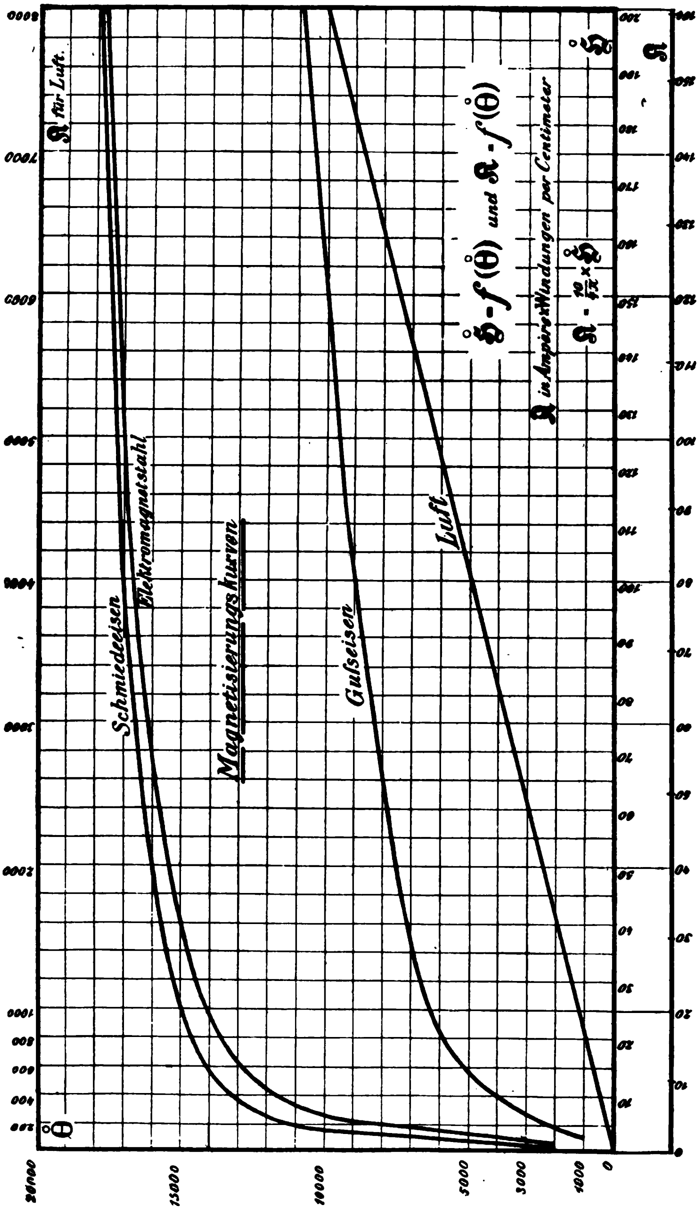
Magnetisierungskurven
Schmiedeeisen
Elektromagnetstahl
Gußeisen
Luft
𝔎 für Luft.
$\overset{\circ}{\mathfrak{H}} = f(\overset{\circ}{\Theta})$ und $\mathfrak{K} = f(\overset{\circ}{\Theta})$
𝔎 in Ampère×Windungen per Centimeter
$\mathfrak{K} = \frac{10}{4\pi} \times \overset{\circ}{\mathfrak{H}}$
$\overset{\circ}{\Theta}$
$\overset{\circ}{\mathfrak{H}}$
𝔎
0
1000
3000
5000
10000
15000
20000
200
400
600
800
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200

Fig. 35.

97. Berechnung magnetischer Kreise.

Es wurde im vorhergehenden angenommen, daß die Magnetisierungsspule (das Solenoid) und deren Kern gerade und gleich lang (Fig. 36) und ferner, daß die Windungen der Magnetisierungsspule über der ganzen Länge gleichmäßig verteilt waren, und es ist aus dem darin Gesagten zu erkennen, daß man, um in einem Schnitt quer durch den Kern eine bestimmte magnetische Dichte oder eine bestimmte Magnetismusstärke zu erzeugen, für jede Längeneinheit des Kernes eine bestimmte elektrische Magnetisierung, Erregung, aufzuwenden hat. Dasselbe wird der Fall sein, wenn der Kern samt den magnetisierenden Windungen zu einem Ringe (Fig. 37) zusammengebogen wird, so daß ein *Ringmagnet* oder *nonpolarer* Magnet, ein Magnet ohne bestimmte oder freie magnetische Pole, entsteht, indem der Kern einen *metallisch geschlossenen* magnetischen Kreis bildet.

Daß die Form des Magnets bezw. des magnetischen Kreises und die Art und Weise, in welcher die magnetisierenden Windungen auf den Magnet angebracht und verteilt werden, auf das Ergebnis der Magnetisierung großen Einfluß haben muß, geht aus dem in Artikel 69 über elektromagnetische Induktion Gesagten deutlich hervor. Die Bedürfnisse der Praxis bedingen aber Magnetkonstruktionen von verschiedenen Formen, und die magnetisierenden Windungen müssen an bestimmten Stellen auf dem magnetischen Kreise untergebracht werden. Dadurch wird die genauere Berechnung der Magnetkreise natürlich gewissermaßen erschwert, aber man erleichtert sich die Sache, indem man nach der Methode von Hopkinson, die für jeden einzelnen Teil des magnetischen Kreises erforderliche elektrische Erregung mit Hilfe vorhandener Magnetisierungskurven berechnet, nachdem man die Werte der magnetischen Dichte in den Querschnitten der einzelnen Teile an der Hand sogenannter *Streuungskoeffizienten* einer Art von Korrektur unterworfen hat. Die Summe der so für die einzelnen Teile ermittelten Strom · Windungen (bezw. Ampère · Windungen) ergibt die Gesamterregung des magnetischen Kreises. Der Streuungskoeffizient bezieht sich auf die sogen. *magnetische Streuung*, das Vorhandensein von Magnetismus außerhalb des nützlichen magnetischen Feldes und der metallischen Bahn des magnetischen Kreises, und hat sonach die gesamte elektromagnetische Anordnung (also sowohl die Magnetform, als auch die Lage der magnetisierenden Spulen) zu berücksichtigen. Man nimmt bisweilen der Einfachheit wegen an, daß der numerische Wert des Streuungskoeffizienten bei einer bestimmten elektromagnetischen Anordnung, bei einem bestimmten Magnettypus, konstant ist, obgleich dies nur zutrifft, wenn die Magnete vollkommen gleichartig konstruiert und ausgeführt, sowie magnetisch gleich beansprucht werden, denn die magnetische Aufnahmefähigkeit (bezw. Leitfähigkeit) des Magnetmaterials ist von dem jeweiligen Sättigungsgrade oder der Dichte abhängig. Der *Streuungskoeffizient* (k_{ν}) wird definiert als das Verhältnis der Magnetismusstärke Φ_m in einem Querschnitte durch den magnetischen Kreis an einer beliebigen Stelle (oder auch speziell an der Stelle, wo die Magnetismusstärke am größten ist: also in der Mitte der Magnetismus erzeugenden Spule) zu der nützlichen Magnetismusstärke Φ_a, der Magnetismusstärke in dem Querschnitte des magnetischen Kreises, worin dieselbe zu nützlicher Wirkung kommt (also im allgemeinen in der Berührungsfläche zwischen Pol und Anker oder, wie bei Dynamomaschinen, in dem Anker selbst) und in der Regel auch den kleinsten Wert besitzt. Es ist folglich

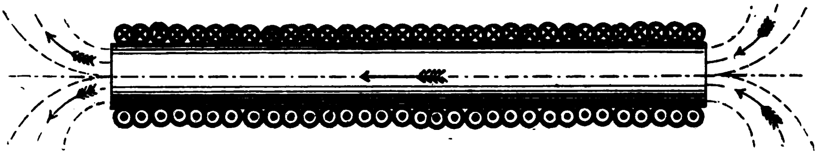

Fig. 36.

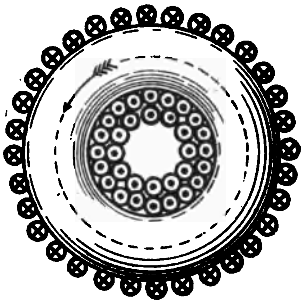

Fig. 37.

$$k_{\nu} = \frac{\Phi_m}{\Phi_a},$$

und es ist einleuchtend, daß k_ψ immer > 1 ausfallen muß. Genauere Werte der Streuung lassen sich nur experimentell ermitteln. Für annähernde Berechnung derselben hat man die Verfahrungsweise von George Forbes; eine systematische Sammlung annähernder Werte des Koeffizienten k_ψ für Dynamomaschinen hat Alfred E. Wiener geliefert.

Es wurde bereits in Artikel 91 erwähnt, daß ein magnetischer Kreis aus verschiedenen Substanzen zusammengesetzt werden kann. Um Gleichungen für einen zusammengesetzten magnetischen Kreis aufzustellen, denke man sich als Beispiel einen Fall, wo vier verschiedene Substanzen vorkommen (Fig. 38), z. B. Elektromagnetstahl auf der Strecke l_1, Gußeisen auf der Strecke l_2, Luft auf der Strecke l_3 und Schmiedeeisen auf der Strecke l_4. Größen, welche auf die eine oder andere Strecke Bezug haben, werden mit denselben Zifferindices wie die entsprechende Länge gekennzeichnet: also S_1, S_2, S_3, S_4 und Θ_1, Θ_2, Θ_3, Θ_4 u. s. w. — In Übereinstimmung mit der gegenwärtigen Praxis mögen die magnetisierende Stromstärke in Ampères und die übrigen Größen in C. G. S.-Einheiten ausgedrückt werden.

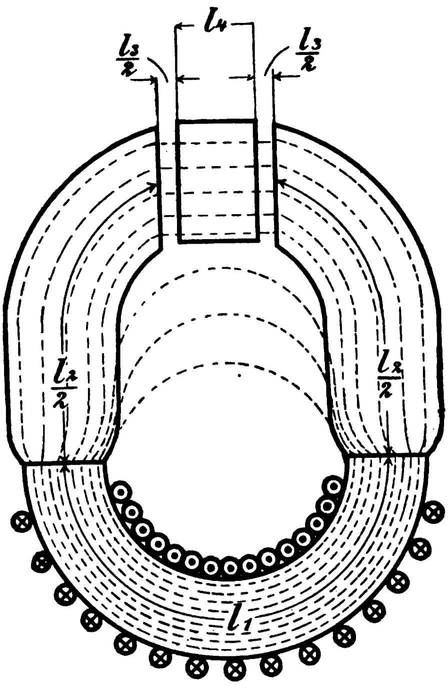

Fig. 38.

Unter der Annahme, daß die Anordnung keine magnetische Streuung hat, wird die Magnetismusstärke, die infolge der auf der Strecke l_1 befindlichen $A\,\mathfrak{N}$ Ampère · Windungen erzeugt wird, in jedem Querschnitte dieselbe und läßt sich algebraisch ausdrücken durch die Gleichung

$$\Phi = \frac{4\pi}{10} A\,\mathfrak{N} \left(k_{\mu.1} \frac{S_1}{l_1} + k_{\mu.2} \frac{S_2}{l_2} + k_{\mu.3} \frac{S_3}{l_3} + k_{\mu.4} \frac{S_4}{l_4} \right) \textit{maxwell.}$$

Hieraus erhält man die elektrische Magnetisierung oder Erregung $A\mathfrak{N}$, die nötig ist, um in einem Querschnitte des fraglichen magnetischen Kreises die Magnetismusstärke Φ zu erzeugen,

$$A\mathfrak{N} = \frac{10}{4\pi}\Phi\left(\frac{l_1}{k_{\mu.1}S_1}+\frac{l_2}{k_{\mu.2}S_2}+\frac{l_3}{k_{\mu.3}S_3}+\frac{l_4}{k_{\mu.4}S_4}\right) \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen.}$$

In Wirklichkeit darf aber die Streuung nicht vernachlässigt werden. Nimmt man der Einfachheit halber an, der Streuungskoeffizient habe für jede der Strecken l_1, l_2, l_3 und l_4 einen bestimmten konstanten Wert $k_{\psi.1}$, $k_{\psi.2}$, $k_{\psi.3}$ und $k_{\psi.4}$, so kann man auch die Magnetismusstärken derselben Strecken Φ_1, Φ_2, Φ_3 und Φ_4 berechnen. Man erhält dann

$$A\mathfrak{N} = \frac{10}{4\pi}\Phi_4\left(\frac{k_{\psi.1}l_1}{k_{\mu.1}S_1}+\frac{k_{\psi.2}l_2}{k_{\mu.2}S_2}+\frac{k_{\psi.3}l_3}{k_{\mu.3}S_3}+\frac{k_{\psi.4}l_4}{k_{\mu.4}S_4}\right) \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen}$$

oder

$$A\mathfrak{N} = \frac{10}{4\pi}\left(\frac{\Phi_1 l_1}{S_1 k_{\mu.1}}+\frac{\Phi_2 l_2}{S_2 k_{\mu.2}}+\frac{\Phi_3 l_3}{S_3 k_{\mu.3}}+\frac{\Phi_4 l_4}{S_4 k_{\mu.4}}\right) \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen.}$$

Da $\Phi_1 : S_1 = \theta_1$, $\Phi_2 : S_2 = \theta_2$, $\Phi_3 : S_3 = \theta_3$ und $\Phi_4 : S_4 = \theta_4$ ist, so erhält man, wenn die magnetische Dichte θ anstatt des Quotienten aus Magnetismusstärke und Querschnitt ($\Phi : S$) in die letzte Gleichung eingesetzt wird

$$A\mathfrak{N} = \frac{10}{4\pi}\left(\theta_1\frac{l_1}{k_{\mu.1}}+\theta_2\frac{l_2}{k_{\mu.2}}+\theta_3\frac{l_3}{k_{\mu.3}}+\theta_4\frac{l_4}{k_{\mu.4}}\right) \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen.}$$

Kennt man die numerischen Werte der in den obigen Gleichungen vorkommenden Faktoren, so kann man für den fraglichen magnetischen Kreis die erforderliche Stärke der Magnetisierung bezw. die erzeugte Magnetismusstärke berechnen. Die Längen l_1, l_2, l_3 und l_4, sowie die Querschnitte S_1, S_2, S_3 und S_4 können einer Zeichnung oder einer schon vorhandenen Ausführung unmittelbar entnommen werden; die Magnetismusstärke Φ_4 ist meistens vorgeschrieben und Φ_1, Φ_2 und Φ_3 lassen sich berechnen, wenn man die Streuungskoeffizienten durch Experimente, Berechnung oder Schätzung bestimmt hat. In der Regel ist $\Phi_3 = \Phi_4$. Sind Φ_{1-4} und S_{1-4} bekannt, so kennt man auch θ_{1-4}; die Werte der Koeffizienten $k_{\mu.1}$, $k_{\mu.2}$ und $k_{\mu.4}$ können nur durch Experimente ermittelt werden, wogegen der Koeffizient für Luft $k_{\mu.3} = 1$ ist.

Wie aus Artikel 96 hervorgeht, ist

$$k_{\mu.1-4} = \frac{10\,\mathfrak{B}_{1-4}}{4\pi\,\mathfrak{K}_{1-4}}.$$

Führt man diese Werte für k_μ in die letzte Gleichung ein, so geht diese in die Form über:

$$A\,\mathfrak{N} = \mathfrak{K}_1\,l_1 + \mathfrak{K}_2\,l_2 + \mathfrak{K}_3\,l_3 + \mathfrak{K}_4\,l_4 \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen}$$

oder, da $\mathfrak{K} = f(\mathfrak{B})$ ist,

$$A\,\mathfrak{N} = f(\mathfrak{B}_1)\,l_1 + f(\mathfrak{B}_2)\,l_2 + f(\mathfrak{B}_3)\,l_3 + f(\mathfrak{B}_4)\,l_4 \text{ Ampère}\cdot\text{Windungen.}$$

Annähernde Werte für die Funktion $\mathfrak{K} = f(\mathfrak{B})$ können aus den Magnetisierungskurven in Figur 35 entnommen werden. Nachdem man die Dichte $\mathfrak{B}$, die als Ordinaten eingetragen ist, für die einzelnen Strecken bestimmt hat, kann man die entsprechende, per Centimeter erforderliche Magnetisierung $\mathfrak{K}$, die als Abscissen eingetragen ist, unmittelbar ablesen. Multipliziert man alsdann die gefundenen Werte von $\mathfrak{K}_1$, $\mathfrak{K}_2$, $\mathfrak{K}_3$ und $\mathfrak{K}_4$ mit den entsprechenden Längen l_1, l_2, l_3 und l_4 und summiert die Produkte, so ergibt sich die gesamte Magnetisierung, die bei dem fraglichen magnetischen Kreis erforderlich ist, um die erwünschte oder vorgeschriebene Magnetismusstärke (Φ_4) zu erzeugen. — Bei mehrpoligen Magnetsystemen, die ebensoviele magnetische Kreise enthalten, wie sie Polpaare haben, braucht man natürlich nur einen Kreis zu berechnen, falls die Kreise, wie üblich, einander ganz gleich sind.

98. Vergleich zwischen magnetischen und elektrischen Kreisen.

In Artikel 91 wurde erwähnt, daß man zuweilen anstatt des Ausdruckes *magnetischer Kreis* den Ausdruck *magnetischer Stromkreis* anwendet, indem man sich vorstellt, der magnetische Kreis besitze eine gewisse Ähnlichkeit mit dem, was man unter dem Namen *elektrischer Stromkreis* kennt. Auch wenn die Merkmale der Begriffe *strömen* und *Strom* für die beiden Fälle nicht gerade identisch sind, muß doch zugegeben werden, daß sich der magnetische Kreis in mathematischer Hinsicht in derselben Weise wie der elektrische Kreis sehr vorteilhaft behandeln läßt, und daß man gerade durch den Vergleich magnetischer und elektrischer Leiter bezw. magnetischer und elektrischer Kreise zu einer gründlichen Erkenntnis der Elektromagnete gelangt ist. Die größten Autoritäten auf dem praktischen *elektromagnetischen* Gebiete, von denen ganz besonders die Namen **Henry Rowland**, **Gisbert Kapp**, **John** und **Edward Hopkinson** hervorzuheben sind, haben ihre elektromagnetischen Theorien auf ein Gesetz, das eine unverkennbare Ähnlichkeit mit dem *Ohmschen* Gesetze hat, aufgestellt und haben damit ausgezeichnete Ergebnisse erzielt, sowie damit den Grund zu den jetzt üblichen Berechnungsmethoden von Elektromagneten gelegt. Da **Rowland** derjenige war, der jenes Gesetz zuerst näher untersuchte und in eine grundlegende Form brachte, so könnte dasselbe geeignet das *Rowlandsche* Gesetz benannt werden.

Vergleicht man das *Ohmsche* Gesetz

$$A = \frac{E}{R},$$

das auch, da

$$R = \mathfrak{f}_r \frac{l}{S} = \frac{1}{\mathfrak{f}_c} \frac{l}{S}$$

ist, auf die Form

$$A = \frac{E}{\mathfrak{f}_r \frac{l}{S}} = \frac{E}{\frac{l}{\mathfrak{f}_c S}}$$

gebracht werden kann, mit der in Art. 92 angeführten Gleichung

$$\overset{\circ}{\Phi} = 4\pi k_\mu \frac{A\mathfrak{N}}{l} S,$$

welche in die Gestalt

$$\overset{\circ}{\Phi} = \frac{4\pi A\mathfrak{N}}{\frac{l}{k_\mu S}}$$

gesetzt werden kann, so findet man eine sehr auffällige Ähnlichkeit.

Nach dem *Rowlandschen* Gesetze ist nun

$$\overset{\circ}{\Phi} = \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{R}} = \frac{4\pi A\mathfrak{N}}{\frac{l}{k_\mu S}} = \frac{4\pi A\mathfrak{N}}{\frac{l_1}{k_{\mu.1} S_1} + \frac{l_2}{k_{\mu.2} S_2} + \frac{l_3}{k_{\mu.3} S_3} + \cdots} \textit{ maxwell}.$$

In dieser Gleichung bezeichnet Φ die *magnetische Stromstärke* (auch magnetischer Kraftfluß, Kraftlinienstrom u. s. w. genannt), $\mathfrak{D}$ die *magnetomotorische Kraft* (ein von R. H. M. **Bosanquet** eingeführter Ausdruck) und $\mathfrak{R}$ den *magnetischen Widerstand*, also Benennungen, die mit den Namen der Größen des *Ohmschen* Gesetzes Ähnlichkeit haben. Da man nun von einem *magnetischen Strome* spricht, so kann man natürlich auch von einem *magnetischen Stromkreise* sprechen.

Die **magnetische Stromstärke** (Φ) ist selbstverständlich von derselben physikalischen Natur wie dasjenige, was wir in Artikel 67 Magnetismusstärke nannten. Im **C. G. S.**-System ist also die Einheitsdimension $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$ *maxwell.*

Die **magnetomotorische Kraft** ($\mathfrak{D}$) ist als die Ursache aufzufassen, vermöge deren der Magnetismus durch die magnetische Anordnung, den magnetischen Stromkreis oder die magnetische Leitung, hindurchgetrieben wird, oder kurz als die Ursache des magnetischen Stromes (Flusses u. s. w.). Nach dem Vorhergehenden ist die magnetomotorische Kraft der Magnetismusquelle, des Magnetismus erzeugenden Solenoids,

$$\overset{\circ}{\mathfrak{D}} = 4\pi A \mathfrak{N} \text{ Einheiten } (\mathbf{C.\,G.\,S.}\text{-}) \text{ der M. M. K.}$$

Wie die elektromotorische Kraft einer Elektrizitätsquelle eine elektrische Spannung, Potentialdifferenz, zwischen den Polklemmen der Elektrizitätsquelle hervorruft, so ruft die magnetomotorische Kraft des Magnetismus erzeugenden Solenoids auch eine magnetische Spannung oder Potentialdifferenz zwischen den beiden Enden oder den magnetischen Polen des Solenoids hervor, und zuweilen spricht man bei magnetischen Leitungen auch von Potentialen und Potentialdifferenzen. In der Tat entspricht der Ausdruck $4\pi A \mathfrak{N}$ einer magnetischen Potentialdifferenz, denn für Luft ($k_\mu = 1$) ist

$$4\pi \overset{c}{A} \mathfrak{N} = \theta\, l = \frac{\text{Б}}{\text{Ш}}\, l = \frac{\mathbf{C}^2\,\mathbf{G}\,\mathbf{S}^{-2}}{\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}},$$

und stellt die Arbeit dar, die verrichtet werden muß, um einen Einheitspol von dem einen zu dem anderen Pole des Solenoids zu führen. Für den einen Pol ist das Potential $+2\pi A \mathfrak{N}$ und für den anderen ist es $-2\pi A \mathfrak{N}$, und daher ist die Potentialdifferenz zwischen den beiden Polen $4\pi A \mathfrak{N}$.

Wird A in Ampères angegeben, so ist, da $\overset{\circ}{A} : 10 = \text{Ampère}$ ist,

$$\mathfrak{D} = \frac{4\pi}{10} A \mathfrak{N} = \frac{4\pi}{10} \times \text{Ampère} \cdot \text{Windungen}.$$

Die Dimension der **C. G. S.**-Einheit der magnetomotorischen Kraft ist

$$\overset{\circ}{\mathfrak{D}} = 4\pi \cdot \boldsymbol{A} \cdot \mathfrak{N} = (\mathbf{C}^{1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})\,\mathbf{I}_{\mathfrak{N}} = \begin{cases} \text{1 C. G. S.-Einheit der M. M. K.} \\ \text{oder, was dasselbe ist,} \\ \text{1 C. G. S.-Strom} \cdot \text{Windung.} \end{cases}$$

Diese Einheit wird bisweilen *gilbert* genannt, nach William Gilbert.

Der Ausdruck *magnetomotorische Kraft* wird häufig abgekürzt zu M. M. K. oder MMK.

Die **spezifische magnetomotorische Kraft** ($\mathfrak{H}$) ist die magnetomotorische Kraft auf die Einheit der Länge des magnetischen Stromkreises. Ist diese Länge l und der Stromkreis gleichförmig, so hat man

$$\overset{\circ}{\mathfrak{H}} = \frac{\mathfrak{D}}{l} = \frac{4\pi \boldsymbol{A} \mathfrak{N}}{l}$$

oder, wenn $\boldsymbol{A}$ in Ampères ausgedrückt wird,

$$\mathfrak{H} = \frac{4\pi}{10}\,\frac{\boldsymbol{A}\mathfrak{N}}{l} = \frac{4\pi}{10}\mathfrak{K},$$

woraus hervorgeht, daß das Verhältnis zwischen $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{K}$ gleich 4π bezw. $\frac{4\pi}{10}$ ist.

Aus der letzten Gleichung erhält man

$$\mathfrak{K} = \frac{10}{4\pi}\mathfrak{H},$$

und setzt man diesen Ausdruck anstatt $\mathfrak{K}$ in die schon aus Artikel 96 bekannte Gleichung

$$k_\mu = \frac{10}{4\pi}\,\frac{\boldsymbol{\theta}}{\mathfrak{K}}$$

ein, so ergibt sich

$$k_\mu = \frac{\boldsymbol{\theta}}{\mathfrak{H}}\,.$$

Der Koeffizient k_μ ist von derselben physikalischen Natur, wie der gleichbezeichnete Koeffizient der *magnetischen Aufnahmefähigkeit* in Artikel 96. Er wird aber hier, wo man von magnetischem Strome, Flusse u. s. w. spricht, besser *spezifische magnetische Leit(ungs)fähigkeit* genannt. Der numerische Wert des Koeffizienten kann nur durch Versuche mit den verschiedenen Substanzen ermittelt werden. Es besteht eine gewisse Analogie zwischen der magnetischen und der elektrischen Leitfähigkeit: beide sind verschieden bei den verschiedenen Substanzen, diese nimmt bei zunehmender elektrischer Dichte infolge der Temperaturzunahme ab, weil der elektrische Widerstand dadurch steigt, und jene nimmt auch bei zunehmender magnetischer Dichte ab, obzwar hauptsächlich aus anderen Gründen als bei dem elektrischen Stromkreise.

Annähernde Werte für die Funktion

$$\mathfrak{H} = f(\boldsymbol{\theta})$$

sind in der Figur 35 enthalten.

Die Einheitsdimension der spezifischen magnetomotorischen Kraft ist im **C. G. S.**-System

$$\mathring{\mathfrak{H}} = \frac{\mathfrak{D}}{l} = (\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})\,\mathbf{I}_{\mathfrak{N}} \left\{ \begin{array}{c} 1\ \textbf{C.G.S.}\text{-Einheit der M. M. K. per } \mathit{cm} \\ \text{oder} \\ 1\ \textit{gilbert} \text{ per } \mathit{cm}. \end{array} \right.$$

Der **magnetische Leitungswiderstand** ($\mathfrak{R}$) oder die *Reluktanz* (der letztere, für die germanischen Sprachen aber weniger geeignete Ausdruck wurde von Oliver Heaviside eingeführt). Nach dem *Rowlandschen* Gesetze ist

$$\mathfrak{R} = \frac{\mathfrak{D}}{\Phi} = \frac{l_1}{k_{\mu.1}\,S_1} + \frac{l_2}{k_{\mu.2}\,S_2} + \ldots = \sum \frac{l}{k_\mu\,S}$$

oder, falls man an Stelle der spezifischen magnetischen Leitfähigkeit k_μ deren reziproken Begriff, den *spezifischen magnetischen Leitungswiderstand* oder die *Reluktivität* (auch ein Ausdruck, der für die germanischen Sprachen wenig paßt) $k_\varkappa = \frac{1}{k_\mu}$, einführt,

$$\mathfrak{R} = \sum k_\varkappa \frac{l}{S}\,.$$

Die Einheitsdimension des spezifischen magnetischen Leitungswiderstandes ($k_\varkappa$) ist natürlich **I**, und die Dimension der **C. G. S.**-Einheit des magnetischen Leitungswiderstandes ist

$$\mathring{\mathfrak{R}} = k_\varkappa \cdot \frac{l}{S} = \mathbf{C}^{-1} = \frac{1}{1\,\mathit{cm}}\,.$$

Diese Einheit wird bisweilen *oersted* genannt, nach Hans Christian Örsted. Benutzt man die Einheiten *maxwell, gilbert* und *oersted,* so ist nach dem *Rowlandschen* Gesetze

$$1\,\mathit{maxwell} = \frac{1\,\mathit{gilbert}}{1\,\mathit{oersted}}\,.$$

Es mag vielleicht vielen Elektrotechnikern sonderbar vorkommen, daß man jene Namen gewählt hat. Berücksichtigt man aber, daß die betreffenden Einheiten nicht einem *technischen* Maßsystem angehören, sondern einem *philosophischen*, dem C. G. S.-System, so muß man zugeben, daß die gewählten Namen keineswegs ungeeignet sind, wenn es überhaupt angebracht ist, die Maßeinheiten mit persönlichen Benennungen auszustatten. Freilich wäre es anders, wenn die fraglichen Einheiten einem technischen Maßsystem angehörten, denn in diesem Falle müßte man für die drei Hauptgrößen, die bei dem magnetischen Stromkreise in Frage kommen, zunächst an die Namen Rowland, Kapp und Hopkinson denken, da sie der Technik das wertvollste elektromagnetische Grundmaterial geliefert haben.

Die **magnetische Leit(ungs)fähigkeit** ($\mathfrak{L}$) ist der reziproke Begriff des magnetischen Leitungswiderstandes. Es ist also

$$\mathfrak{L} = \frac{1}{\mathfrak{N}}$$

und die Einheitsdimension im C.G.S.-System gleich C = 1 *cm*. — Die spezifische magnetische Leitfähigkeit (k_μ) wurde unter der Rubrik spezifische magnetomotorische Kraft bereits erwähnt.

Die **Berechnung magnetischer Stromkreise** bleibt dieselbe wie vorher (vgl. Art. 97) denn die Ausgangsformeln

$$\mathring{\Phi} = 4\pi k_\mu \frac{A\mathfrak{N}}{l} S = 4\pi\, A\mathfrak{N}\left(\frac{k_{\mu.1} S_1}{l_1} + \frac{k_{\mu.2} S_2}{l_2} + \frac{k_{\mu.3} S_3}{l_3} + \dots\right)$$

und

$$\mathring{\Phi} = \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{N}} = \frac{4\pi A\mathfrak{N}}{\dfrac{l}{k_\mu S}} = \frac{4\pi A\mathfrak{N}}{\left(\dfrac{l_1}{k_{\mu.1} S_1} + \dfrac{l_2}{k_{\mu.2} S_2} + \dfrac{l_3}{k_{\mu.3} S_3} + \dots\right)}$$

sind identisch und führen zu dem gleichen Ergebnis. Für die Ermittelung der in einem bestimmten Falle erforderlichen Erregung hat man die Gleichung

$$\mathring{A}\mathfrak{N} = \frac{1}{4\pi}(\mathfrak{H}_1 l_1 + \mathfrak{H}_2 l_2 + \mathfrak{H}_3 l_3 + \dots\dots)$$

oder, da $\mathfrak{H} = f(\theta)$ ist,

$$\mathring{A}\mathfrak{N} = \frac{1}{4\pi}[f(\theta_1) l_1 + f(\theta_2) l_2 + f(\theta_3) l_3 + \dots] \cdot$$

Um die im Vorhergehenden behandelten Größen besser übersehen zu können, sind die algebraischen Bezeichnungen, die Bestimmungsgleichungen und die auf das C. G. S.-System bezogenen Einheitsdimensionen sämtlicher Größen in Tabelle IV aufgeführt:

Tabelle IV.

99. Tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen Größen und deren Bestimmungsgleichungen, sowie der Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten in Bezug auf das C. G. S.-Maßsystem.

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
			A. Geometrische Größen:		
8^a	Länge	l	$\mathring{l}$ = eine Zahl	C	Centimeter (*cm*)
8^b	Breite	b	$\mathring{b}$ = eine Zahl	C	Centimeter (*cm*)
8^b	Höhe, Dicke, Tiefe	h	$\mathring{h}$ = eine Zahl	C	Centimeter (*cm*)
8^c	Fläche	S	$\mathring{S} = l\,b$	C^2	Quadratcentimeter (*cm²*)
8^d	Volumen	V	$\mathring{V} = S\,h = S\,l$	C^3	Kubikcentimeter (*cm³*)
8^e	Kreishalbmesser	r	$\mathring{r}$ = eine Zahl	C	*cm*
8^f	Kreisdurchmesser	d	$\mathring{d} = 2\,r$	C	*cm*
8^g	Kreisumfang	o	$\mathring{o} = \pi\,d$	C	*cm*
8^h	Kreisbogen	s	$\mathring{s}$ = eine Zahl	C	*cm*
8^i	Ebener Winkel:				
	a. in Bogenmaß	α	$\mathring{\alpha} = \frac{s}{r}$	I oder I_α	Radiant (Eins)

	b. in Gradmaß	β, γ, δ	$\mathring{\beta}, \mathring{\gamma}, \mathring{\delta}$ = eine Zahl	I oder $\mathbf{I}_\beta$, $\mathbf{I}_\gamma$, $\mathbf{I}_\delta$	Grad (^{0}) Minute (′) Sekunde (″) (Eins)
8ᵏ	Räumlicher Winkel	σ	$\mathring{\sigma} = \frac{S}{r^2}$	I oder $\mathbf{I}_\sigma$	Steradiant (Eins)

B. Mechanische Größen:

9	Zeit	t	$\mathring{t}$ = eine Zahl	**S**	Sekunde (*sec*)
10	Geschwindigkeit	v	$\mathring{v} = \frac{l}{t}$	$\mathbf{C\,S}^{-1}$	*cm* per *sec*
11	Rotationsgeschwindigkeit: **a.** Umdrehungszahl	m_x	$\mathring{m}_x$ = eine Zahl	I oder $\mathbf{I}_{mx}$	Umdrehung (Eins)
	Umdrehungen per Zeiteinheit	n	$\mathring{n} = \frac{m_x}{t}$	$\mathbf{I}_{mx}\,\mathbf{S}^{-1}$	Umdrehung per *sec*
	b. Winkelgeschwindigkeit	w	$\mathring{w} = \frac{\alpha}{t} = \frac{v}{r}$	$\mathbf{I}_\alpha\,\mathbf{S}^{-1}$	Radiant per *sec*
12 12	Beschleunigung bezw. Verzögerung im allgemeinen	a	$a = \frac{v}{t}$	$\mathbf{C\,S}^{-2}$	*cm* per *sec*^{2}
12	Winkelbeschleunigung	a_w	$\mathring{a}_w = \frac{w}{t}$	$\mathbf{I}_\alpha\,\mathbf{S}^{-2}$	Radiant per *sec*^{2}
13	Fallbeschleunigung	g	$g = \frac{v}{t}(g_P = 980{,}96)$	$\mathbf{C\,S}^{-2}$	*cm* per *sec*^{2}
14	Gewicht	G	$\mathring{G}$ = eine Zahl	**G**	Gramm (*grm*)

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
15	Spezifisches Gewicht	k_G	$\mathring{k}_G = \frac{G}{V}$	$C^{-3}G$	*grm* per *cm*^{3}
16	Relatives Gewicht	k_g	$\mathring{k}_g = \frac{k_{G.2}}{k_{G.1}}$	I	Eins
17	Spezifisches Volumen	k_V	$\mathring{k}_V = \frac{V}{G}$	C^3G^{-1}	*cm*^{3} per *grm*
18	Masse	M	$\mathring{M} = G =$ eine Zahl	G	*grm*
19	Spezifische Masse (Dichte)	k_M	$\mathring{k}_M = \frac{M}{V}$	$C^{-3}G$	*grm* per *cm*^{3}
20	Relative Dichte	k_m	$\mathring{k}_m = \frac{k_{M.2}}{k_{M.1}}$	I	Eins
21	Schwere	U	$\mathring{U} = Mg$	CGS^{-2}	Dyn (*dyn*)
21	Schwerkraft	U_F	$\mathring{U}_F = U = Mg$	CGS^{-2}	*dyn*
22	Mechanische Kraft	F_m	$\mathring{F}_m = Ma$	CGS^{-2}	*dyn*
23	Mechanische Arbeit	W_m	$\mathring{W}_m = F_m l$	C^2GS^{-2}	Erg (*erg*)
24	Mechanische Leistung	P_m	$\mathring{P}_m = \frac{W_m}{t}$	C^2GS^{-3}	*erg* per *sec*
25	Mechanische Energie:	K			
	a. potentielle	K_p	$\mathring{K}_p = Mgh$	C^2GS^{-2}	*erg*

	b. kinetische	$\boldsymbol{K}_k$	$\mathring{\boldsymbol{K}}_k = \boldsymbol{M}\frac{\boldsymbol{v}^2}{2}$	$\mathsf{C^2\,G\,S^{-2}}$	*erg*
26	Massenmoment	$\boldsymbol{O}$	$\mathring{\boldsymbol{O}} = \sum \boldsymbol{M}\boldsymbol{r}^2$	$\mathsf{G\,(\perp C^2)}$	C. G. S.-Einheit des Massenmoments.
27	Antrieb der Kraft	$\boldsymbol{I}$	$\mathring{\boldsymbol{I}} = \boldsymbol{F}_m \boldsymbol{t}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,S}$	*dyn* · *sec*
28	Bewegungsgröße	$\boldsymbol{B}$	$\mathring{\boldsymbol{B}} = \boldsymbol{M}\boldsymbol{v}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,S}$	*dyn* · *sec*
29	Druck, Zug, Spannung	$\boldsymbol{D}_x$	$\mathring{\boldsymbol{D}}_x = \mathring{\boldsymbol{F}}_m$	$\mathsf{C\,G\,S^{-2}}$	*dyn*
30	Spezifischer Druck	$\boldsymbol{k}_{Dx}$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_{Dx} = \frac{\boldsymbol{D}_x}{\boldsymbol{S}}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}$	*dyn* per *cm*²
31	Kraftmoment:	$\boldsymbol{H}$			
	a. biegendes	$\boldsymbol{H}_b$	$\mathring{\boldsymbol{H}}_b = \boldsymbol{F}_m \boldsymbol{l}$	$\mathsf{C\,G\,S^{-2}\,(\perp C)}$	*dyn* ⊥ *cm*
	b. drehendes	$\boldsymbol{H}_d$	$\mathring{\boldsymbol{H}}_d = \boldsymbol{F}_m \boldsymbol{r}$	$\mathsf{C\,G\,S^{-2}\,(\perp C)}$	*dyn* ⊥ *cm*
32	Spezifische Elastizität	$\boldsymbol{k}_e$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_e = \left(\frac{\Delta \boldsymbol{l}}{\boldsymbol{l}}\right) : \left(\frac{\boldsymbol{D}_x}{\boldsymbol{S}}\right)$	$\frac{\mathsf{I}}{\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}}$	Eins per (*dyn* per *cm*²)
32	Spezifische Inelastizität	$\boldsymbol{k}_i$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_i = \left(\frac{\boldsymbol{D}_x}{\boldsymbol{S}}\right) : \left(\frac{\Delta \boldsymbol{l}}{\boldsymbol{l}}\right) = \frac{1}{\boldsymbol{k}_e}$	$\frac{\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}}{\mathsf{I}}$	(*dyn* per *cm*²) per Eins
32	Festigkeitskoeffizienten:				
	a. Bruchkoeffizient	$\boldsymbol{k}_b$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_b = \frac{\boldsymbol{D}_{x.b}}{\boldsymbol{S}}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}$	*dyn* per *cm*²
	b. Tragfähigkeitskoeffizient	$\boldsymbol{k}_t$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_t = \frac{\boldsymbol{D}_{x.t}}{\boldsymbol{S}}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}$	*dyn* per *cm*²
	c. Formbeständigkeitskoeffizient	$\boldsymbol{k}_f$	$\mathring{\boldsymbol{k}}_f = \frac{\boldsymbol{D}_{x.f}}{\boldsymbol{S}}$	$\mathsf{(C\,G\,S^{-2})\,C^{-2}}$	*dyn* per *cm*²
33	Querschnittsmoment:	$\boldsymbol{J}$			

	Die technophysikalische Größe			Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
	a. äquatoriales	J_e	$J_e = \sum S l^2$	$C^2 (\perp C^2)$	C. G. S.-Einheit des äq. Querschnittsm.
	b. polares	J_p	$J_p = J_{e.1} + J_{e.2}$	$C^2 (\perp C^2)$	C. G. S.-Einheit des pol. Querschnittsm.
34	Widerstandsmoment der Querschnitte:	T			
	a. gegen Biegung	T_b	$T_b = k_{Dx} \frac{J_e}{l_e}$	$C G S^{2} (\perp C)$	*dyn* ⊥ *cm*
	b. gegen Drehung	T_d	$T_d = k_{Dx} \frac{J_p}{l_p}$	$C G S^{2} (\perp C)$	*dyn* ⊥ *cm*
35	Gravitationskraft	U_x	$U_x = k_{Ux} \frac{M M_1}{l^2}$	$C G S^{2}$	*dyn*
36	Gravitationskoeffizient	k_{Ux}	$k_{Ux} = \frac{U_x l^2}{M M_1}$	$\frac{C^2 G S^{-2}}{G} \cdot \frac{C}{G}$	C. G. S.-Einheit des Gravitationskoeffizienten
37	Mechanisches Potential	V_x	$V_x = k_{Ux} \frac{M}{l}$	$(C^2 G S^{-2}) G^{-1}$	*erg* per *grm*
37	Mechanische Potentialdifferenz	$V_{x.d}$	$V_{x.d} = k_{Ux} M \left(\frac{1}{l_I} - \frac{1}{l_{II}}\right)$	$(C^2 G S^{-2}) G^{-1}$	*erg* per *grm*

C. Kalorische Größen:

38	Kalorische Kraft	$\mathfrak{F}$	$\mathring{\mathfrak{F}}$	$C\,G\,S^{-2}$	*dyn*
	Wärmemenge Kalorische Energie	$\mathfrak{W}$	$\mathring{\mathfrak{W}} = \mathring{W}_m = \mathring{K}$	$C^2\,G\,S^{-2}$	*erg*
	Kalorischer Effekt	$\mathfrak{P}$	$\mathring{\mathfrak{P}} = \frac{\mathfrak{W}}{t}$	$C^2\,G\,S^{-3}$	*erg* per *sec*
39	Temperatur	$\mathfrak{T}$	$\mathring{\mathfrak{T}} = \frac{\mathfrak{W}}{M_{eau}}$	$(C^2\,G\,S^{-2})\,G^{-1}$ oder $(C^2\,S^{-2})$	C.G.S.-Temperatureinheit oder *erg* per *grm* oder *cm*² per *sec*²
40	Spezifische Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	$\dot{k}_{\mathfrak{p}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{p}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{p}}}{G\,\mathfrak{T}_d}$	$\frac{C^2\,G\,S^{-2}}{G \cdot C^2\,S^{-2}}$	*erg* per (*grm* und C. G. S.-Temperatureinheit)
41	Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	$\dot{k}_{\mathfrak{r}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{r}} = \frac{k_{\mathfrak{p}.2}}{k_{\mathfrak{p}.1}}$	I	Eins
42	Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit	$\dot{k}_{\mathfrak{v}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{v}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{v}}}{V\,\mathfrak{T}}$	$\frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^3 \cdot C^2\,S^{-2}}$	*erg* per (*cm*³ und C. G. S.-Temperatureinheit)
43	Wärmeleit(ungs)koeffizient	$\dot{k}_{\mathfrak{c}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{c}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{c}}\,l}{S\,t\,\mathfrak{T}_d}$	$\frac{C^2\,G\,S^{-3}}{C \cdot C^2\,S^{-1}}$	(*erg* per *sec*) per (*cm* und C. G. S.-Temperatureinheit)
44	Wärmestrahlungskoeffizient	$\dot{k}_{\mathfrak{s}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{s}} = \frac{1}{k_{\mathfrak{e}}}\,\frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{s}}}{S\,t\,\mathfrak{T}_d}$	$\frac{C^2\,G\,S^{-3}}{C^2 \cdot C^2\,S^{-2}}$	(*erg* per *sec*) per (*cm*² und C. G. S.-Temperatureinheit)
45	Ausdehnungskoeffizient (linearer)	$\dot{k}_{\mathfrak{d}}$	$\mathring{k}_{\mathfrak{d}} = \frac{\Delta l}{l}\,\frac{1}{\mathfrak{T}_d}$	$\frac{I}{(C^2\,G\,S^{-2})\,G^{-1}}$	Eins per C. G. S.-Temperatureinheit

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
46	Spezifische Schmelzwärme	$k_{\mathfrak{f}}$	$\overset{\circ}{k}_{\mathfrak{f}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{f}}}{G}$	$(C^2 G S^{-2}) G^{-1}$	*erg* per *grm*
47	Spezifische Verdampfungswärme	$k_{\mathfrak{s}}$	$\overset{\circ}{k}_{\mathfrak{s}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{s}}}{G}$	$(C^2 G S^{-2}) G^{-1}$	*erg* per *grm*
48	Spezifische Verbrennungswärme	$k_{\mathfrak{h}}$	$\overset{\circ}{k}_{\mathfrak{h}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{h}}}{G}$	$(C^2 G S^{-2}) G^{-1}$	*erg* per *grm*
	D. Optische Größen:				
49	Optische Kraft	$\mathfrak{F}_x$	$\overset{\circ}{\mathfrak{F}}_x$	$C G S^{-2}$	*dyn*
	Lichtstärke Spezifischer optischer Effekt	$\mathfrak{J}$	$\overset{\circ}{\mathfrak{J}} = \frac{1}{k_m} \frac{(P:S)^3}{(k_{\mathfrak{s}} \mathfrak{T}_d)^2}$	$k_m (C^2 G S^{-3}) C^{-2}$	k_m (*erg* per *sec*) per *cm*^{2}
	Optischer Effekt	$\mathfrak{P}_x$	$\overset{\circ}{\mathfrak{P}}_x = \mathfrak{J} S$	$C^2 G S^{-3}$	*erg* per *sec*
	Optische Energie	$\mathfrak{W}_x$	$\overset{\circ}{\mathfrak{W}} = \mathfrak{J} S t$	$C^2 G S^{-2}$	*erg*
50	Lichtstrom	$\mathfrak{S}$	$\overset{\circ}{\mathfrak{S}} = \sigma \mathfrak{J} = \frac{S}{r^2} \mathfrak{J}$	$k_m (C^2 G S^{-3}) C^{-2}$	k_m (*erg* per *sec*) per *cm*^{2}

51	Beleuchtungsstärke	$\mathfrak{B}$	$\mathring{\mathfrak{B}} = \frac{\mathfrak{S}}{s}$	$k_m\left[(C^2 G S^{-3}) C^{-2}\right] C^{-2}$	k_m (*erg* per *sec*) per *cm*^{2} per *cm*^{2}
52	Spezifische Lichtmenge	$\mathfrak{M}$	$\mathring{\mathfrak{M}} = \mathfrak{S}\, t$	$k_m (C^2 G S^{-2}) C^{-2}$	k_m *erg* per *cm*^{2}
53	Belichtung	$\mathfrak{E}$	$\mathring{\mathfrak{E}} = \mathfrak{B}\, t = \frac{\mathfrak{M}}{s}$	$k_m\left[(C^2 G S^{-2}) C^{-2}\right] C^{-2}$	k_m *erg* per *cm*^{2} per *cm*^{2}

Da wir keine besondere Gruppe für akustische Größen haben, mögen die folgenden an dieser Stelle mit angeführt werden:

Akustische Kraft	$\mathfrak{F}_z$	$\mathring{\mathfrak{F}}_z$	$C G S^{-2}$	*dyn*
Akustische Energie	$\mathfrak{W}_z$	$\mathring{\mathfrak{W}}_z$	$C^2 G S^{-2}$	*erg*
Akustischer Effekt	$\mathfrak{P}_z$	$\mathring{\mathfrak{P}}_z$	$C^2 G S^{-3}$	*erg* per *sec*

E. Elektrostatische Größen:

54	Elektrostatische Kraft	Ъ	$\mathring{\text{Ъ}} = \frac{\text{Ж}\,\text{Ж}_1}{l^2}$	$C G S^{-2}$	*dyn*
55	Statische Elektrizitätsmenge	Ж	$\mathring{\text{Ж}} = \sqrt{\text{Ъ}\, l^2}$	$C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}$	C. G. S.-Einheit der st. Elektrizitätsmenge
56	Elektrostatisches Potential	Ь	$\mathring{\text{Ь}} = \frac{\text{Ж}}{l}$	$\frac{C^2 G S^{-2}}{C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}}$	*erg* per C. G. S.-Einheit der st. Elektrizitätsm.
57	Elektrostatische Potentialdifferenz	Ь_d	$\mathring{\text{Ь}}_d = \text{Ж}\left(\frac{1}{l_I} - \frac{1}{l_{II}}\right)$	$\frac{C^2 G S^{-2}}{C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}}$	*erg* per C. G. S.-Einheit der st. Elektrizitätsm.

	Die technophysikalische Größe			Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
58	Elektrostatische Aufnahmefähigkeit	Я	$\mathring{\text{Я}} = \frac{\text{Ж}}{\text{Ь}}$	$\frac{C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}}{C^{1/2} G^{1/2} S^{-1}} = C$	$\left.\begin{array}{l}\text{C.G.S.-Einheit}\\ \text{der elektrost.}\\ \text{Aufnahmefäh.}\end{array}\right\} = cm$
F. Magnetische Größen:					
59	Magnetische Kraft	Б	$\mathring{\text{Б}} = \frac{\text{Ш}\,\text{Ш}_1}{l^2}$	$C\,G\,S^{-2}$	*dyn*
	Magnetische Energie	Э	$\mathring{\text{Э}}$	$C^2\,G\,S^{-2}$	*erg*
	Magnetischer Effekt	Щ	$\mathring{\text{Щ}}$	$C^2\,G\,S^{-3}$	*erg* per *sec*
60	Magnetische Polstärke	Ш	$\mathring{\text{Ш}} = \sqrt{\text{Б}\, l^2}$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	C. G. S.-Einheitspol
61	Magnetisches Potential	Л	$\mathring{\text{Л}} = \frac{\text{Ш}}{l}$	$\frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}$	*erg* per C. G. S.-Einheitspol
62	Magnetische Potentialdifferenz	Л_d	$\mathring{\text{Л}}_d = \text{Ш}\left(\frac{1}{l_{\mathrm{I}}} - \frac{1}{l_{\mathrm{II}}}\right)$	$\frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}$	*erg* per C. G. S.-Einheitspol
63	Magnetisches Moment	Ч	$\mathring{\text{Ч}} = \text{Ш}\, l$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}\,(H\,C)$	C. G. S.-Einheitspol H *cm*
64	Spezifisches magnetisches Moment	Ц	$\mathring{\text{Ц}} = \frac{\text{Ч}}{V} = \frac{\text{Ш}}{S}$	$C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	(C. G. S.-Einheitspol H *cm*) per cm^3

66	Magnetische Feldstärke	$\boldsymbol{\theta}_P$	$\mathring{\boldsymbol{\theta}}_P = \frac{\mathbf{B}}{\text{Ш}_1}$	$\frac{C\,G\,S^{-2}}{C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}$ oder $C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	*dyn* per **C. G. S.**-Einheitspol oder auch Gauß (*gauss*)
67	Magnetismusstärke	$\boldsymbol{\Phi}$	$\mathring{\boldsymbol{\Phi}} = \frac{\mathbf{B}}{\text{Ш}_1} S$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	Maxwell (*maxwell*)
67	Magnetische Dichte	$\boldsymbol{\theta}$	$\mathring{\boldsymbol{\theta}} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{S}$	$C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	*gauss*
68	Magnetische Tragkraft:	Ю			
	a. eine Trennungsstelle	Ю_1	$\mathring{\text{Ю}}_1 = \frac{1}{2}\,\frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi}$	$C\,G\,S^{-2}$	*dyn*
	b. zwei Trennungsstellen	Ю_2	$\mathring{\text{Ю}}_2 = \frac{\boldsymbol{\theta}^2 S}{4\pi}$		

G. Elektrodynamische Größen:

70	Elektrische Stromstärke	$\boldsymbol{A}$	$\mathring{\boldsymbol{A}} = \frac{r^2}{s}\,\frac{F_e}{\text{Ш}}$	$C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	C. G. S.-Stromeinheit
71	Elektromotorische Kraft	$\boldsymbol{E}$	$\dot{\mathring{\boldsymbol{E}}} = l\,v\,\boldsymbol{\theta} = \frac{\boldsymbol{\Phi}}{t}$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-2}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K.
72	Elektrischer Leitungswiderstand	$\boldsymbol{R}$	$\mathring{\boldsymbol{R}} = \frac{E}{A}$	$C\,S^{-1}$	*cm* per *sec*
73	Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{l}_r$	$\mathring{\mathfrak{l}}_r = \boldsymbol{R}\,\frac{S}{l}$	$C^2\,S^{-1}$	*cm*^{2} per *sec*
74	Relativer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{l}_u$	$\mathring{\mathfrak{l}}_u = \frac{\mathfrak{l}_{r.2}}{\mathfrak{l}_{r.1}}$	I	Eins

	Die technophysikalische Größe			Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
75	Elektrische Leit(ungs)fähigkeit	L	$\mathring{L} = \frac{1}{R}$	$C^{-1} S$	Eins per (*cm* per *sec*) oder *sec* per *cm*
76	Spezifische elektrische Leit(ungs)fähigkeit	$\mathfrak{k}_c$	$\mathring{\mathfrak{k}}_c = \frac{1}{\mathfrak{k}_r}$	$C^{-2} S$	Eins per (*cm*² per *sec*)
77	Relative elektrische Leit(ungs)fähigkeit	$\mathfrak{k}_v$	$\mathring{\mathfrak{k}}_v = \frac{\mathfrak{k}_{c.2}}{\mathfrak{k}_{c.1}}$	I	Eins
78	Elektrische Spannung	D	$\mathring{D} = A R$	$C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K.
79	Elektrodynamische Kraft	F_e	$\mathring{F}_e = l A \theta$	$C G S^{-2}$	*dyn*
80	Elektrische Arbeit	W_e	$\mathring{W}_e = D A t$	$C^2 G S^{-2}$	*erg*
80	Elektrische Energie				
81	Elektrische Leistung	P_e	$\mathring{P}_e = \frac{W_e}{t} = D A$	$C^2 G S^{-3}$	*erg* per *sec*
81	Elektrischer Effekt				
82	Selbstinduktionskoeffizient	$\mathfrak{k}_s$	$\mathring{\mathfrak{k}}_s = E_s : \frac{d A}{d t}$	$\frac{C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}}{(C^{1/2} G^{1/2} S^{-1}) : S}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K. C. G. S.-Stromeinheit per *sec*
82	Koeffizient der gegenseitigen Induktion	$\mathfrak{k}_m$	$\mathring{\mathfrak{k}}_m = E_m : \frac{d A}{d t}$	$\frac{C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}}{(C^{1/2} G^{1/2} S^{-1}) : S}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K. C. G. S.-Stromeinheit per *sec*

83	Dynamische Elektrizitätsmenge		Q	$\mathring{Q} = A\,t$	$C^{1/2}\,G^{1/2}$	C. G. S.-Einheit der dyn. Elektrizitätsm.
84	Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit		C	$\mathring{C} = \mathfrak{t}_d\,\frac{Q}{D}$	$\frac{S}{C\,S^{-1}}$	*sec* per (*cm* per *sec*)
85	Elektrodynamische Dichte		i	$\mathring{i} = \frac{A}{S}$	$(C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1})\,C^{-2}$	C. G. S.-Stromeinheit per *cm*²
86	Anzahl der Perioden	bei Wechselstromkreisen	m	$\mathring{m}$ = eine Zahl	I oder I_m	Periode (Eins)
86	Frequenz		f	$\mathring{f} = \frac{m}{t}$	$I_m\,S^{-1}$	Periode per *sec*
86	Dauer der Periode		t_m	$\mathring{t}_m = \frac{t}{m} = \frac{1}{f}$	S	*sec*
86	Elektromotorische Ursprungskraft		E_i	$\mathring{E}_i = E_{i.\max}\,\sin w\,t$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-2}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K.
86	Zurückwirkende elektromotorische Kraft oder E. M. Reaktionskraft		E_r	$\mathring{E}_r = A_{u.\max}\left(\mathfrak{t}_s\,w - \frac{1}{C\,w}\right) \cos\,(w\,t - \varphi)$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-2}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K.
86	Elektromotorische Nutzkraft		E_u	$\mathring{E}_u = E_i - E_r$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-2}$	C. G. S.-Einheit der E. M. K.
86	Wirklicher Widerstand		R	$\mathring{R} = \frac{E}{A}$	$C\,S^{-1}$	*cm* per *sec*

Die technophysikalische Größe					Die Maßeinheit	
Artikel	Name		Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
86	Scheinbarer Widerstand	bei Wechselstromkreisen	R_r	$\mathring{R}_r = \mathfrak{k}_s w - \frac{1}{C w}$	$C\,S^{-1}$	*cm* per *sec*
86	Resultierender Widerstand		R_i	$\mathring{R}_i = \sqrt{R^2 + R_r^2}$	$C\,S^{-1}$	*cm* per *sec*
86	Stromstärke		A_u	$\mathring{A}_u = \frac{E_u}{R}$	$C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	C. G. S.-Stromeinheit
86	Phasenverschiebung		φ	$\cos\varphi = \frac{E_{u.\max}}{E_{i.\max}} = \frac{R}{R_i}$	I	Eins
86	Elektrischer Effekt		$P_{e.\mathrm{eff}}$	$\mathring{P}_{e.\mathrm{eff}} = D_a\,A_a \cos\varphi$	$C^2\,G\,S^{-3}$	*erg* per *sec*
87	Durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge		$\mathfrak{W}_e$	$\mathring{\mathfrak{W}}_e = D\,A\,t = A^2\,R\,t$	$C^2\,G\,S^{-2}$	*erg*
88	Temperaturzunahme in einem elektrischen Leiter		$\mathfrak{T}_e$	$\mathring{\mathfrak{T}}_e = \frac{A^2\,R\,t}{k_p\,G}$	$C^2\,S^{-2}$	C. G. S.-Temperatureinheit
89	Elektrochemische Kraft		F_K	$\mathring{F}_K$	$C\,G\,S^{-2}$	*dyn*
89	Elektrochemische und Chemoelektrische Energie		W_K	$\mathring{W}_K = D\,A\,t$	$C^2\,G\,S^{-2}$	*erg*

89	Elektrochemisches Äquivalent	kk_a	$\mathring{kk}_a = \frac{G}{Q}$	$G\,(C^{-1/2}\,G^{-1/2})$	*grm* per **C. G. S.**-Einheit der dynam. El.-m.

H. Elektromagnetische Größen:

92	Magnetismusstärke	Φ	$\mathring{\Phi} = 4\pi k_\mu \frac{A\mathfrak{N}}{l} S$	$C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	*maxwell*
93	Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte	θ	$\mathring{\theta} = \frac{\Phi}{S}$	$C^{-1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$	*gauss*
94	Windungszahl	$\mathfrak{N}$	$\mathring{\mathfrak{N}} =$ eine Zahl	I oder $I_{\mathfrak{N}}$	Windung (Eins)
94	Elektrische Magnetisierung oder Erregung	$A\mathfrak{N}$	$\mathring{A}\mathfrak{N} = \frac{\theta\, l}{4\pi k_\mu}$	$(C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1})\,I_{\mathfrak{N}}$	**C. G. S.**-Strom · Windung
95	Spezifische elektrische Magnetisierung	$\mathfrak{K}$	$\mathring{\mathfrak{K}} = \frac{A\mathfrak{N}}{l}$	$\frac{(C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1})\,I_{\mathfrak{N}}}{C}$	**C. G. S.**-Strom · Windung per *cm*
96	Magnetische Aufnahmefähigkeit	$\mathfrak{C}$	$\mathring{\mathfrak{C}} = k_\mu \frac{S}{l}$	C	*cm*
96	Spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit	k_μ	$\mathring{k}_\mu = \frac{1}{4\pi} \frac{\theta}{\mathfrak{K}}$	I	Eins
96	Susceptibilität	k_ζ	$\mathring{k}_\zeta = \frac{\Pi}{\theta_P}$	I	Eins

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit	
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name
96	Permeabilität	k_ω	$\mathring{k}_\omega = \frac{\theta_S}{\theta_P}$ bezw. $\frac{\theta_{P.2}}{\theta_{P.1}}$	I	Eins
97	Koeffizient der magnetischen Streuung	k_ψ	$\mathring{k}_\psi = \frac{\Phi_m}{\Phi_a}$	I	Eins
98	Magnetische Stromstärke	Φ	$\mathring{\Phi} = \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{R}}$	$C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}$	*maxwell*
98	Magnetomotorische Kraft	$\mathfrak{D}$	$\mathring{\mathfrak{D}} = 4\pi A \mathfrak{R} = \frac{\text{Б}}{\text{Ш}} l$	$\left\{ \frac{C^2 G S^{-2}}{C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}} \right.$ bezw. $\left. (C^{1/2} G^{1/2} S^{-1}) I_\mathfrak{R} \right\}$	C. G. S.-Einheit der M. M. K. oder Gilbert (*gilbert*)
98	Spezifische magnetomotorische Kraft	$\mathfrak{H}$	$\mathring{\mathfrak{H}} = \frac{\mathfrak{D}}{l}$	$(C^{-1/2} G^{1/2} S^{-1}) I_\mathfrak{R}$	*gilbert* per *cm*
98	Magnetischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{R}$	$\mathring{\mathfrak{R}} = \frac{\mathfrak{D}}{\Phi} = \frac{l}{k_\mu S} = k_\varkappa \frac{l}{S}$	C^{-1}	Eins per *cm* oder Örsted (*oersted*)
98	Spezifischer magnetischer Leitungswiderstand	$k_\varkappa$	$\mathring{k}_\varkappa = \mathfrak{R} \frac{S}{l} = \frac{1}{k_\mu}$	I	Eins

98	Magnetische Leit(ungs)-fähigkeit	L	$\mathring{L} = \frac{1}{\mathfrak{R}}$	C	*cm*
98	Spezifische magnetische Leit(ungs)fähigkeit	k_μ	$\mathring{k}_\mu = \frac{l}{\mathfrak{R}\,S} = \frac{\theta}{\mathfrak{H}}$	I	Eins

Tabelle V.

Name der elektrostatischen und elektrodynamischen Größe	C. G. S.-Einheitsdimension				Quotient, wenn die Dimension der elektrostatischen Größe durch die Dimension der elektrodynamischen Größe dividiert wird	Artikel No.	
	der elektrostatischen Größe		der elektrodynamischen Größe			der elektro-statischen Größe	der elektro-dynam. Größe
Elektrizitätsmenge	1 Ж	$\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}$	1 Q	$\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}$	$\frac{1\,Ж}{1\,Q} = \mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}$	55	83
Aufnahmefähigkeit	1 Я	C	1 C	$\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1}}$	$\frac{1\,Я}{1\,C} = (\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1})^2$	58	84
Potentialdifferenz	1 $\mathfrak{b}_d$	$\mathrm{C}^{1/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}$	1 D	$\mathrm{C}^{3/2}\,\mathrm{G}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-2}$	$\frac{1\,\mathfrak{b}_d}{1\,D} = (\mathrm{C}\,\mathrm{S}^{-1})^{-1}$	57	78

Es ist Mode geworden, daß man bei der Darstellung der Einheitsdimensionen physikalischer Größen einen Vergleich zwischen den Einheitsdimensionen der elektrostatischen und elektrodynamischen Größen (oder, wie man gewöhnlich sagt, zwischen den Einheitsdimensionen des elektrostatischen und des elektromagnetischen Maßsystems) anstellt, indem man das Verhältnis der Einheitsdimensionen der elektrostatischen Größen zu denen der gleichgenannten elektrodynamischen Größen ermittelt. Zwecks eines derartigen Vergleiches sind die Einheitsdimensionen der Größen *Elektrizitätsmenge*, *elektrische Aufnahmefähigkeit* und *Potentialdifferenz*, sowie der Quotient der entsprechenden Einheitsdimensionen in Tabelle V angeführt.

Um die Natur und die Bedeutung der Dimensionsausdrücke, welche die Quotienten zeigen, genauer beurteilen zu können, greift man am besten auf die Bestimmungsgleichungen zurück. So erhält man z. B. für Elektrizitätsmenge

$$\frac{\text{Ж}}{Q} = \frac{\text{Ж}}{A \times t} = \frac{\sqrt{\text{Ъ}\, l^2}}{\frac{r^2 F_e}{s\, \text{Ш}} \times t} = \frac{\sqrt{\text{Ъ}\, l^2}}{\frac{r^2 F_e t}{s \sqrt{\text{Б}\, l^2}}} = \frac{s}{t}\,.$$

Hieraus geht hervor, daß man wohl tut, diesen Dimensionsausdrücken nicht einen zu großen physikalischen Wert beizumessen.

IV. Kapitel.

Technophysikalische Maßsysteme.

100. Nach welchen Grundsätzen sollte ein technophysikalisches Maßsystem aufgestellt werden?

Bei der Aufstellung eines technophysikalischen Maßsystems muß man natürlich in erster Linie die Bedürfnisse der Technik berücksichtigen. Sämtliche Maßeinheiten eines solchen Systems müssen sowohl für technische Messungen, als auch für technische Berechnungen praktisch anwendbar sein; ferner müssen die Maßeinheiten eine solche Dimension haben, daß sie sich mit den entsprechenden Einheiten des **C. G. S.**-Systems und den jetzt gebräuchlichen sogen. praktischen Einheiten so bequem wie möglich vergleichen lassen. Es versteht sich von selbst, daß man für rein praktische Zwecke oder allgemeine Messungen im täglichen Leben kein physikalisches Maßsystem nötig hat.

Die Grundmaße oder fundamentalen Maßeinheiten eines technophysikalischen Maßsystems darf man wohl nur einem allgemeinen, gesetzlichen Maßsystem entnehmen, und es kann dann nur das Metersystem in Frage kommen. Es sei jedoch bemerkt, daß sich ein physikalisches Maßsystem in mancher Hinsicht vorteilhafter aufstellen ließe, falls man die Grundmaße beliebig wählen könnte.

Im Zusammenhang mit einem technophysikalischen Maßsystem sollten die physikalischen Größen, so weit wie möglich, nach den technischen Auffassungen definiert werden, so daß die physikalischen Dimensionsausdrücke ein praktisches Bild von der Größe und von der Natur der betreffenden Einheiten geben möchten.

Das Charakteristische an dem philosophischen (C. G. S.-)Maßsystem liegt insbesondere in der Art und Weise der Definition des Begriffes *Kraft.* Die Kräfte werden dort in Dyns ausgedrückt. Die Einheit *Dyn* ist aber viel zu klein für technische Zwecke; die Technik scheint außerdem nicht gewillt, die philosophische Definition von Kraft, $\overset{\circ}{F}_m = M a$, anzunehmen. In der Technik werden Kräfte in praktischen Gewichtseinheiten ausgedrückt, und man würde es in einem eventuellen technophysikalischen oder, kurz gesagt, technischen Maßsystem daher nicht umgehen können, sich dieser allgemein gebräuchlichen Methode zu bedienen.

Es ist eine vorzügliche Eigenschaft des C. G. S.-Systems, daß es in seinen Dimensionsausdrücken Zifferfaktoren vermeidet, aber in einem technischen Maßsystem können Zifferfaktoren leider nicht umgangen werden, weil man, wenigstens gegenwärtig, der Anwendung von schon eingebürgerten Einheiten, wie Kalorie, Volt, Ampère u. dgl., nicht entgehen kann. Gegenwärtig muß man sich offenbar mit einem Maßsystem begnügen, das nur den Zweck verfolgt, das bereits vorhandene Material systematisch zusammenzuführen und übersichtlich zu ordnen, so daß eine einheitliche Aufstellung von Definitionen, Formeln, Koeffizienten, Einheitsdimensionen u. s. w. möglich wird. Das allein würde ein großer Schritt vorwärts sein, und späterhin, nachdem die Frage zu größerer Reife gelangt ist, würde sich das Maßsystem verbessern und vervollständigen lassen.

101. Welche Maßeinheiten aus dem Metersystem können als Grundmaße für ein technophysikalisches Maßsystem hauptsächlich in Frage kommen?

Gleichwie bei dem C. G. S.-Maßsystem sollte man bei einem technischen Maßsystem nicht mehr Grundmaße als gerade notwendig wählen, und, wie bereits in Artikel 4 hervorgehoben wurde, kann ein physikalisches Maßsystem auf drei Grundmaße aufgebaut werden: eins für Länge, eins für Gewicht und eins für Zeit. Für jede Wahl der drei Grundmaße entsteht natürlich ein neues Maßsystem. Wenn man das technische Maßsystem auf drei bekannte Maße basiert, von denen zwei, für Länge und Gewicht, dem gesetzlichen Metersystem entnommen sind und sowohl für technische Messungen, als auch für technische Berechnungen brauchbar sein sollen, so scheint es, als ob man für die Gewichtseinheit das Kilogramm und für die Längeneinheit entweder das Decimeter oder auch das Centimeter wählen müßte. Als Zeiteinheit paßt die Sekunde unzweifelhaft am besten. Bei der Wahl der Grundmaße hat man natürlich zu berücksichtigen, daß nicht nur die Grundmaße selbst, sondern auch die abgeleiteten Maßeinheiten so praktisch wie möglich ausfallen.

Es würde zu weit führen, vollständige Beispiele auf alle mehr oder weniger denkbare physikalische Maßsysteme anzuführen. Im III. Kapitel wurde das **C. G. S.**-System behandelt, und in diesem (IV.) Kapitel sollen die Decimeter-Kilogramm-Sekunden- (**D. K. S.**-) und Centimeter-Kilogramm-Sekunden- (**C. K. S.**-)Systeme behandelt und verglichen werden. Außerdem soll ein Vergleich zwischen einigen Maßeinheiten verschiedener denkbarer physikalischer Maßsysteme angestellt werden.

A. Technophysikalisches Maßsystem, zurückgeführt auf Decimeter-Kilogramm-Sekunde als Grundmaße.

102. Bezeichnungen und Erkennungszeichen des D. K. S.-Maßsystems, wenn es gleichzeitig mit einem anderen Maßsystem vorkommt.

Was die algebraische Bezeichnung der physikalischen Größen anbetrifft, sollte dieselbe von den Maßsystemen vollkommen unabhängig sein; es kommen deshalb im folgenden die gleichen Bezeichnungen zur Anwendung wie im vorhergehenden. In Fällen, wo es notwendig erscheint (z. B. wenn Formeln nach zwei verschiedenen Maßsystemen an einer Stelle vorkommen), das Maßsystem hervorzuheben, auf welches eine gegebene Formel bezogen ist, kann man ein besonderes Kennzeichen anwenden. Wie wir für das **C. G. S.**-System ein kleines (°) als Kennzeichen benutzten, wollen wir für das **D. K. S.**-System einen Zirkonflex (˜) benutzen, der (vgl. Art. 2) oberhalb des Bezeichnungsbuchstaben gesetzt wird. Als Bezeichnungsbuchstaben in den physikalischen Dimensionsausdrücken der Maßeinheiten des **D. K. S.**-Systems kommen die Buchstaben **D**, **K** und **S** zur Anwendung.

103. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten.

Hier gelten dieselben sprachlichen und algebraischen Definitionen wie im **C. G. S.**-System (vgl. Art. 8); die Einheitsdimensionen ergeben sich dann auch in gleicher Weise wie dort, und man braucht nur die Verschiedenheit der Grundmaße und der Dimensionsbezeichnungen zu berücksichtigen. — Da die Bestimmungsgleichungen und Einheitsdimensionen in Tabelle VI systematisch aufgenommen sind, werden sie nicht hier aufgeführt, sondern wir weisen auf die erwähnte Tabelle hin, in welcher auch das Größenverhältnis der **D. K. S.**-Einheiten zu den **C. G. S.**-Einheiten angegeben ist.

104. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten.

In Betreff der Definition der Größen Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Gewicht und Masse gilt das in den Artikeln 9—20 Gesagte. Die **D. K. S.**-Gleichungen und Einheitsdimensionen sind aus Tabelle VI zu ersehen.

Bezüglich des Begriffes *Gewicht* halten wir unsere mehrmals ausgesprochene Ansicht aufrecht: der numerische Wert des Gewichtes eines Körpers ist an jedem Orte derselbe. Als Einheit der *Masse* wird die Stoffmenge angenommen, die in dem normalen Kilogramm-Gewichtsstück enthalten ist.

a. Die Schwere (U) eines Körpers ändert sich mit dem Orte, indem sie mit der Entfernung von dem Schwerkraftzentrum abnimmt. Der Betrag der Schwere wird in Kilogrammen angegeben. Nimmt man die Schwere der Masse des Kilogramm-Gewichtes an einem bestimmten Orte, an einem Punkte mit einem bestimmten Wert der Fallbeschleunigung, als Einheit der Schwere an, so kann man leicht die Schwere eines Körpers, dessen Gewicht man kennt, für jeden Ort berechnen, wenn der numerische Wert der Beschleunigung dieses Ortes bekannt ist. Da nun das Kilogramm-Gewichtsstück aus Paris herstammt, wäre es wohl am besten, die erwähnte Annahme auch für diesen Ort zu machen, zumal da Paris eine hierfür geeignete mittlere Lage hat. Bezeichnet man die Beschleunigung in Paris mit g_P und die Schwere an derselben Stelle $U_P = G$, so erhält man, da

$$\frac{U_P}{g_P} = \frac{U_1}{g_1} = \frac{U_2}{g_2} \text{ u. s. w.}$$

ist, an irgend einem anderen Orte, wo die Beschleunigung den Wert g hat, die Schwere

$$U = \frac{g}{g_P} U_P = \frac{g}{g_P} G \; kg \, .$$

Die Dimension der Einheit im **D. K. S.**-System ist

$$\tilde{U} = \frac{g}{g_P} \cdot G = \frac{\mathrm{D\,S^{-2}}}{\mathrm{D\,S^{-2}}} \cdot \mathrm{K} = \mathrm{K} = 1 \text{ Kilogramm}\, .$$

Da die **C. G. S.**-Bestimmungsgleichung der Schwere

$$\overset{\circ}{U} = M g \; dyn$$

lautet und folglich die Einheitsdimension $\mathrm{C\,G\,S^{-2}}$ ist, so ist das Kilogramm $= 10^4 \, \tilde{g} \; dyn$.

b. Die Schwerkraft (U_F), die sich infolge der Schwere eines Körpers äußert, ist der Schwere numerisch gleich. Daher

$$U_F = \frac{g}{g_P} U_P = \frac{g}{g_P} G \; kg$$

und somit die Einheitsdimension $\mathrm{K} = 1 \, kg$.

c. Mechanische Kraft (F_m) nennt man jede Ursache, die einen Körper bewegt, zu bewegen sucht, ihm eine andere Geschwindigkeit oder eine andere Bewegungsrichtung erteilt oder zu erteilen sucht. Man würde auch den Begriff der Kraft im allgemeinen definieren können als dasjenige, was irgend eine Lage-, Form- oder Zustandsveränderung bewirkt oder verhindert, zu bewirken oder zu verhindern sucht (vgl. Art. 22).

Ebenso wie man im **C. G. S.**-System

$$\overset{\circ}{U} = \dot{U}_F = M g = M a = \overset{\circ}{F}_m$$

setzt, ist es geeignet, im **D. K. S.**-System

$$\tilde{U} = U_F = \frac{g}{g_P} G = \tilde{F}_m$$

zu setzen. Die algebraische Definition der mechanischen Kraft im **D. K. S.**-System lautet also

$$F_m = \frac{g}{g_P}\, G\ kg\,.$$

Hierbei bezeichnet G das Gewicht in Kilogrammen einer Last (d. i. einer Masse), die unter dem Einflusse der Schwerkraft steht, und F_m die mechanische Kraft, welche erforderlich ist, der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten oder zu überwinden. Hat die mechanische Kraft irgend eine andere Kraft als die Schwerkraft, z. B. eine Belastung, die nicht ihre Ursache in der Schwerkraft hat, zu überwinden, so verschwindet doch nicht das Verhältnis $g : g_P$ aus der Gleichung, denn man muß ja doch in letzter Instanz mit Schwerkraftwirkungen vergleichen.

Mittels der soeben aufgestellten **D. K. S.**-Bestimmungsgleichung der mechanischen Kraft läßt sich die Kraft ebenso genau berechnen, wie mittels der bekannten **C. G. S.**-Gleichung, und außerdem besitzt die **D. K. S.**-Gleichung den praktischen Vorteil, daß die physikalische Dimension von g sowohl in dem Dimensionsausdruck der Krafteinheit, als auch in verschiedenen anderen Dimensionsausdrücken vermieden werden kann. Bei den meisten, ja man kann sogar sagen bei allen technischen Berechnungen braucht man die Änderung der Schwerkraft nicht zu berücksichtigen, denn diese Änderung ist an und für sich so gering, daß ihr Einfluß auf das Endergebnis der Berechnung verschwindet gegenüber dem Einflusse der ungenauen Werte vieler in den technischen Formeln vorkommenden Faktoren. Der Einfluß der Änderung der Fallbeschleunigung ist leicht zu beurteilen, wenn man $G = 1$ setzt und mit Hilfe der Formeln $F_m = \frac{g}{g_P} G$ die Werte von F_m unter der Annahme berechnet, daß $\tilde{g}_P$ oder $\tilde{g}$ in Paris $= 98{,}096$, $\tilde{g}$ am Äquator $= 97{,}810$ und an den Polen $= 98{,}318$ *dm* per *sec*^{2} ist. Es ist nämlich

$$\text{in Paris} \qquad F_m = \frac{98{,}096}{98{,}096} \times 1 = 1{,}00000\ kg\,,$$

$$\text{am Äquator} \quad „ \quad = \frac{97{,}810}{98{,}096} \times 1 = 0{,}99700 \ „$$

$$\text{an den Polen} \quad „ \quad = \frac{98{,}318}{98{,}096} \times 1 = 1{,}00226 \ „$$

woraus hervorgeht, daß der Wert von $\boldsymbol{F}_m$ an den Polen nur ungefähr 0,53 % größer ist als der Wert am Äquator.

Die Dimension der Krafteinheit ist

$$\tilde{\boldsymbol{F}}_m = \frac{g}{g_P} G =. \mathbf{K} = 1\ kg,$$

genau wie für Schwere und Schwerkraft.

d. Die **mechanische Arbeit** ($\boldsymbol{W}_m$) und die **mechanische Leistung** ($\boldsymbol{P}_m$) werden in gleicher Weise definiert wie im C.G.S.-System. Somit die mechanische Arbeit

$$\boldsymbol{W}_m = \boldsymbol{F}_m l\ kg \cdot dm$$

und die mechanische Leistung

$$\boldsymbol{P}_m = \frac{\boldsymbol{W}_m}{t}\ kg \cdot dm : sec.$$

Die Einheitsdimensionen sind

$$\mathbf{DK} = 1\ kg \cdot dm \text{ und } \mathbf{DKS}^{-1} = 1\ kg \cdot dm : sec.$$

e. **Mechanische Energie** ($\boldsymbol{K}$). Für die potentielle Energie erhält man

$$\boldsymbol{K}_p = \boldsymbol{U}\boldsymbol{h} = \frac{g}{g_P} G h\ kg \cdot dm,$$

wenn U und g die mittleren Werte für die Höhe h bezeichnen. Gibt man der letzten Gleichung die Gestalt

$$\boldsymbol{K}_p = \frac{G}{g_P} g h$$

und setzt man anstatt $g h$ den aus der bekannten Gleichung $v^2 = 2 g h$ gefundenen Wert $\frac{v^2}{2}$ ein, so erhält man für kinetische Energie die Gleichung

$$\boldsymbol{K}_k = \frac{G}{g_P} \frac{v^2}{2}\ kg \cdot dm.$$

Für Körper, welche um eine feste Achse rotieren, ergibt sich

$$\boldsymbol{K}_k = \frac{G}{g_P} \frac{w^2 r^2}{2}\ kg \cdot dm.$$

An anderer Stelle (Art. 7) wurde erwähnt, daß es üblich ist, die Masse eines Körpers als den Quotienten aus dem Gewichte des

Körpers und der Fallbeschleunigung zu definieren. Der Quotient $\frac{G}{g_P}$ in der letzten Gleichung würde demnach ein Ausdruck für die Masse sein, und er wird auch als solcher allgemein in der Technik benutzt, obschon es für die Technik wohl vernünftiger wäre, die Masse des Kilogramm-Gewichtsstückes als Masseneinheit zu benutzen.

Die Dimensionen der Einheiten sind

1. für potentielle mechanische Energie $\tilde{K}_p = U \cdot h = \mathbf{D\,K}$,
2. „ kinetische „ „ $\tilde{K}_k = \frac{G}{g_P}\frac{v^2}{2} = \mathbf{D\,K}$,

d. h. in beiden Fällen 1 *kg* · *dm*, wie für die Einheit der mechanischen Arbeit.

f. Massenmoment (***O***). Wie im C. G. S.-System, hat man auch hier

$$O = M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2 + M_3 r_3^2 + \dots = \sum M r^2 .$$

Als Einheitsdimension ergibt sich $\mathbf{K}(\perp \mathbf{D}^2)$.

g. Antrieb der Kraft (***I***) und **Bewegungsgröße** (***B***). Aus den Gleichungen

$$F_m = \frac{g}{g_P} G \quad \text{und} \quad a = \frac{v}{t} = g$$

ergibt sich

$$F_m = \frac{v}{t}\frac{G}{g_P} .$$

Bringt man diese Gleichung auf die Form

$$F_m t = \frac{G}{g_P} v ,$$

so heißt das Produkt links

$$I = F_m t \ \mathit{kg} \cdot \mathit{sec}$$

Antrieb der Kraft, und der Ausdruck rechts

$$B = \frac{G}{g_P} v \ \mathit{kg} \cdot \mathit{sec}$$

Bewegungsgröße.

Man erhält als Einheitsdimension

und

$$\left.\begin{aligned}\tilde{\boldsymbol{I}} &= \boldsymbol{F}_{\mathrm{m}}\cdot \boldsymbol{t} = && \mathbf{KS}\\ \tilde{\boldsymbol{B}} &= \frac{\boldsymbol{G}}{\boldsymbol{g}_{\mathrm{P}}}\cdot \boldsymbol{v} = \frac{\mathbf{K}}{\mathbf{D\,S}^{-2}}\cdot \mathbf{D\,S}^{-1} = && \mathbf{KS}\end{aligned}\right\} = 1\, kg \cdot sec.$$

Betreffs der übrigen mechanischen Größen und ihrer Maßeinheiten gilt das in den Artikeln 29—37 Gesagte; und die zugehörigen **D. K. S.**-Bestimmungsgleichungen, sowie die **D. K. S.**-Einheitsdimensionen sind aus Tabelle VI zu ersehen.

105. Kalorische Größen und ihre Maßeinheiten.

Für diese Größen haben die in den Artikeln 38—48 gegebenen Definitionen auch Geltung, und hinsichtlich der Bestimmungsgleichungen und Einheitsdimensionen kann auf Tabelle VI verwiesen werden.

106. Optische Größen und ihre Maßeinheiten.

Die Definitionen der Größen sind dieselben wie in den Artikeln 49—53, und in Tabelle VI sind die Bestimmungsgleichungen und Einheitsdimensionen zu finden.

107. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten.

Da diese Größen in der Hauptsache nur für die philosophische Wissenschaft von Bedeutung sind, werden sie nicht hier aufgenommen. Sie lassen sich außerdem mit Hilfe des **C. G. S.**-Systems am besten behandeln.

108. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

Der größere Teil der magnetischen und elektrischen Maßeinheiten, die nach dem **C. G. S.**-System aufgestellt und im III. Kapitel geschildert wurden, eignet sich sehr wenig für praktische und technische Zwecke. Wenn man die **C. G. S.**-Maßeinheiten für technische Messungen und Berechnungen benutzen will, muß man in der Regel Verwandlungszahlen einführen, um dieselben in der Größe zu verändern, so daß sie den kommerziellen oder gewerblichen, den sogen. praktischen Maßeinheiten (*volt, ampère,* *ohm* u. s. w.), deren Größe auf Grund praktischer Versuchsergebnisse bestimmt wurde, entsprechen. Alle im III. Kapitel aufgenommenen magnetischen und elektromagnetischen Größen braucht man in der technischen Praxis nicht, sondern hauptsächlich nur magnetische Polstärke, Magnetismusstärke, magnetische Dichte, magnetische Tragkraft und elektrische Magnetisierung oder Erregung, wobei noch zu beachten ist, daß die elektromagnetischen Berechnungen sich fast ausschließlich auf Daten stützen, die man zuerst durch Versuche mit dem betreffenden Material ermitteln muß.

Gleichwie man sich veranlaßt sah, praktische Maßeinheiten für die Messung elektrischer Größen einzuführen, wird wahrscheinlich früher oder später auch der Tag kommen, wo man sich nach praktischen Einheiten zur Messung magnetischer und elektromagnetischer Größen sehnen wird, d. h. nach praktisch dimensionierten Einheiten, die nach technischer Auffassung definiert und mit technischen Hilfsmitteln bestimmt werden können. Hierbei muß man jedoch berücksichtigen, daß der theoretische Zusammenhang mit den philosophischen Darstellungen so viel wie möglich beibehalten wird. Bei der Bestimmung von praktischen magnetischen Maßeinheiten oder Einheiten der magnetischen Größen für ein technisches Maßsystem scheint es am geeignetsten, von einem physikalischen Magnetpole auszugehen, d. i. von einem Magnetpole, der Ausdehnung besitzt und sonach mit praktischen Verhältnissen verglichen werden kann. Dies kann auf verschiedene Weise erreicht werden, und wir geben im folgenden ein Beispiel an, wobei wir direkt von einer **C. G. S.**-Gleichung ausgehen.

In Artikel 68 ist uns die Formel der magnetischen Tragkraft

$$\mathring{\mathbf{IO}}_1 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi} \boldsymbol{\theta}^2 \boldsymbol{S}\ dyn$$

begegnet, worin $\mathbf{IO}$ die äußere Kraft in Dyns bezeichnet, welche nötig ist, um bei einem in zwei Hälften geteilten Magnetstab bezw. Elektromagnetkern oder bei einem in geeigneter Weise mechanisch teilbaren magnetischen Kreise (vgl. Fig. 3) die Kontaktstelle zu öffnen oder die zwei gegeneinander liegenden Flächen, wovon jede einen Inhalt $S\ cm^2$ hat, zu trennen, wenn eine magnetische Dichte von $\boldsymbol{\theta}$ *gauss* in der Kontaktstelle herrscht. Dieser äußeren Kraft $\mathbf{IO}$ hält eine innere (magnetische) Kraft $\mathbf{B}$ das Gleichgewicht, und kann man infolgedessen auch

$$\mathring{\mathbf{B}} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi} \boldsymbol{\theta}^2 \boldsymbol{S} \ \mathit{dyn}$$

schreiben. Durch Veränderung des in der Gleichung vorkommenden Zahlenwertes kann die Gleichung jedem physikalischen Maßsystem angepaßt werden, indem man einen Verwandlungsfaktor, einen konstanten Koeffizienten, der auf das gewählte Maßsystem Bezug hat, hinzufügt. Allgemein kann man daher die Gleichung auf die Form

$$\mathbf{B} = \frac{1}{k_\alpha} \boldsymbol{\theta}^2 \boldsymbol{S}$$

setzen, worin k_α eine konstante Zahl repräsentiert, die sowohl den erwähnten Verwandlungsfaktor, als auch $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi}$ in sich schließt. Dann ergibt sich für die Dichte

$$\boldsymbol{\theta} = \sqrt{k_\alpha \frac{\mathbf{B}}{\boldsymbol{S}}}$$

oder, falls man $\sqrt{k_\alpha} = k_\beta$ setzt,

$$\boldsymbol{\theta} = k_\beta \sqrt{\frac{\mathbf{B}}{\boldsymbol{S}}}\,.$$

Es sei an dieser Stelle beiläufig darauf hingewiesen, daß der unter dem Wurzelzeichen stehende Quotient $\frac{\mathbf{B}}{\boldsymbol{S}}$ mit dem spezifischen mechanischen Drucke $\frac{D_x}{\boldsymbol{S}}$ synonym ist.

Da die Magnetismusstärke in einer Fläche $\boldsymbol{S}$, in welcher die Dichte allenthalben $\boldsymbol{\theta}$ ist, gleich $\boldsymbol{\theta}\boldsymbol{S}$ ist, so erhält man

$$\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{\theta}\boldsymbol{S} = k_\beta \boldsymbol{S} \sqrt{\frac{\mathbf{B}}{\boldsymbol{S}}} = k_\beta \sqrt{\mathbf{B}\boldsymbol{S}}\,.$$

Der letzte Ausdruck, der sich übrigens auch aus anderen **C. G. S.**-Gleichungen herleiten läßt, würde als algebraische Definition von Magnetismusstärke benutzt werden können.

Dieselbe Gleichung kann auch für die Bestimmung der magnetischen Polstärke benutzt werden, denn die zwei Magnetpole, die dabei aufeinander einwirken sollen, lassen sich leicht so einrichten, daß der gesamte Magnetismus der Pole sich in der Kontaktstelle konzentriert und nur an dieser Stelle zur Wirkung kommt.

Will man die Polstärke und die Magnetismusstärke nach derselben Maßeinheit messen, so hat man auch

$$\mathfrak{M} = \Phi = k_\beta \sqrt{\mathbf{B} S}\,.$$

Wünscht man aber für die Polstärke eine andere Einheitsdimension oder Einheitsgröße, muß ein anderer Koeffizient eingesetzt werden, z. B.

$$\mathfrak{M} = k_\gamma \sqrt{\mathbf{B} S}\,.$$

Wenn man bezüglich der Einheitsgröße vollkommen freie Wahl hätte, würde man selbstverständlich $k_\beta = k_\gamma = 1$ setzen, denn dann würde man als Bestimmungsgleichung sowohl für die Magnetismusstärke, als auch für die Polstärke den einfachen Ausdruck

$$\Phi = \mathfrak{M} = \sqrt{\mathbf{B} S}$$

und somit als Einheitsdimensionen $\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}$ erhalten. Man würde dann auch für die magnetische Dichte und die magnetische Tragkraft sehr einfache Bestimmungsgleichungen erhalten, nämlich für die Dichte die Gleichung

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{\sqrt{\mathbf{B} S}}{S} = \sqrt{\frac{\mathbf{B}}{S}}\,,$$

woraus die Einheitsdimension $\mathbf{D}^{-1}\,\mathbf{K}^{1/2}$, und für die Tragkraft die Gleichung

$$\mathfrak{K}_1 = \boldsymbol{\theta}^2 S \text{ bezw. } \mathfrak{K}_2 = 2\,\boldsymbol{\theta}^2 S\,.$$

Wenn man sehr genau verfahren will, so muß natürlich die Änderung der Schwerkraft berücksichtigt werden, falls man bei der Größenbestimmung Lasten benutzt, die unter dem Einflusse dieser Kraft stehen.

Die soeben angeführten, einfachen Bestimmungsgleichungen können aber gegenwärtig nicht benutzt werden, denn man hat, leider, nicht freie Wahl in Betreff der Einheiten für die Magnetismusstärke und die magnetische Dichte, weil diese Größen in verschiedenen Gleichungen der elektrischen Größen vorkommen, für welche sogen. praktische Einheiten (in einigen Fällen sogar gesetzlich) festgesetzt sind. Wollte man magnetische Einheiten gebrauchen, die sich auf Grund der einfachen Gleichungen der erwähnten magnetischen Größen ergeben, so würde man die Gleichungen der elektrischen Größen mit mehr oder weniger verwickelten Verwandlungskoeffizienten, die schwer im Gedächtnisse zu behalten sind, belasten müssen, was sich aber nicht empfiehlt, da diese Gleichungen sehr häufig in der Praxis zur Anwendung kommen, wie z. B. die Gleichungen der elektromotorischen Kraft

$$E = \mathfrak{f}_a \, l \, v \, \boldsymbol{\theta} = \mathfrak{f}_a \frac{\Phi}{t} = \mathfrak{f}_a \, n \, \Phi \, \mathfrak{N}_\alpha \; \textit{volt}.$$

Der letzte Ausdruck kommt bei der Berechnung von Dynamomaschinen häufig vor, und bezeichnet darin n die Anzahl der Umdrehungen per *sec* und $\mathfrak{N}_\alpha$ die Anzahl elektrischer Leiter auf dem Anker. Wenn die Einheitsdimensionen der mit Φ, $\boldsymbol{\theta}$, l und v bezeichneten Größen $\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}$, $\mathbf{D}^{-1}\mathbf{K}^{1/2}$, $\mathbf{D}$ und $\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}$ sind, würde der Koeffizient

$$\mathfrak{f}_a = \frac{1000\sqrt{2 \times 4\pi\,\tilde{g}_p}}{10^8} = \sqrt{2 \times 4\pi\,\tilde{g}_p} \times 10^{-5} \cong 4{,}9651 \times 10^{-4}$$

werden. Auch wenn der numerische Wert des Koeffizienten $\mathfrak{f}_a$ für den praktischen Gebrauch bis auf $5 \times 10^{-4} = 1:2000$ abgerundet werden könnte, scheint er doch nicht einfach genug für die bei den elektrotechnischen Berechnungen oft vorkommenden Formeln.

Es mag einem vorkommen, als ob es am besten wäre, die Einheit der Magnetismusstärke so groß zu dimensionieren, daß $\mathfrak{f}_a = 1$ gesetzt und sohin aus den mehrerwähnten Gleichungen beseitigt werden könnte; es gibt aber Fälle, wo dies vielleicht weniger geeignet wäre, zumal weil die Magnetismusstärke dann häufig nur in Bruchteilen der Einheit ausgedrückt würde, was leicht aus der Dynamomaschinen-Formel

$$\Phi = \frac{E}{n\,\mathfrak{N}_\alpha}$$

zu ersehen ist. Am vorteilhaftesten dürfte es sein, die Einheit der Magnetismusstärke so zu dimensionieren, daß der Koeffizient $\mathfrak{f}_a = 10^{-3}$ gesetzt werden kann, so daß die **D. K. S.**-Bestimmungsgleichung der elektromotorischen Kraft lautet:

$$\tilde{E} = \frac{1}{1000} l \, v \, \boldsymbol{\theta} = \frac{1}{1000} \frac{\Phi}{t} = \frac{1}{1000} n \, \Phi \, \mathfrak{N}_\alpha \; \textit{volt}.$$

Da diese Gleichung ohne den Zifferfaktor *millivolt* angibt, so ist sie auch sehr leicht im Kopfe zu behalten.

Indem man $\tilde{\mathfrak{f}}_a = 10^{-3}$ macht, setzt man auch das Verhältnis der **D. K. S.**-Einheit der Magnetismusstärke zu der entsprechenden **C. G. S.**-Einheit zu 10^5 fest, und es ergibt sich alsdann für den Koeffizienten k_β in der bereits erwähnten Gleichung der Magnetismusstärke der numerische Wert

$$\tilde{k}_\beta = \frac{1}{10^5} \times 1000 \sqrt{2 \times 4 \pi \tilde{g}_{\mathrm{P}}} = \sqrt{2 \times 4 \pi \tilde{g}_{\mathrm{P}}} \times 10^{-2} \cong 0{,}49651,$$

so daß im **D. K. S.**-System die Bestimmungsgleichung der Magnetismusstärke

$$\tilde{\Phi} = \sqrt{2 \times 4 \pi \tilde{g}_{\mathrm{P}}} \times 10^{-2} \sqrt{\mathbf{Б}\, S} \cong 0{,}49651 \sqrt{\mathbf{Б}\, S}$$

und die der magnetischen Dichte

$$\tilde{\theta} = \sqrt{2 \times 4 \pi \tilde{g}_{\mathrm{P}}} \times 10^{-2} \sqrt{\frac{\mathbf{Б}}{S}} \cong 0{,}49651 \sqrt{\frac{\mathbf{Б}}{S}}$$

lautet. In diesen Gleichungen würde ein umständlicher Zifferfaktor viel weniger Unannehmlichkeiten verursachen als in den Gleichungen der elektromotorischen Kraft und anderer elektrischen Größen.

Im folgenden werden die magnetischen Größen einzeln aufgeführt:

a. Magnetische Kraft (Б) ist die Kraft, die sich auf Grund magnetischer Wirkungen äußert. Diese Kraft soll natürlich nach derselben Einheit gemessen werden wie Kräfte im allgemeinen, und ihre Einheit muß somit im **D. K. S.**-System die Dimension $\mathbf{K} = 1\ kg$ haben.

b. Magnetische Polstärke (Ш). Es erhellt aus dem Vorhergehenden, daß Polstärke und Magnetismusstärke gleicher physikalischer Natur sind und daß man sie auch sehr wohl in einem Begriffe vereinigen könnte. Da sie aber im **C. G. S.**-System getrennt vorkommen, mögen sie auch hier als zwei Begriffe aufgenommen werden. Als Bestimmungsgleichung der magnetischen Polstärke kann man dieselbe Gleichung benutzen wie für Magnetismusstärke, also

$$\mathbf{Ш} = \sqrt{2 \times 4 \pi g_{\mathrm{P}}} \times 10^{-2} \sqrt{\mathbf{Б}\, S}\ ;$$

da es aber nicht notwendig ist, dieselbe Einheitsdimension für die beiden erwähnten Größen zu haben, so könnte man ebensogut die einfache Gleichung

$$\mathbf{Ш} = \sqrt{\mathbf{Б}\, S}$$

benutzen. Indessen wählen wir die erste Gleichung, woraus sich dann die Einheitsdimension ergibt:

$$\mathfrak{m} = \sqrt{2\times 4\pi}\cdot\frac{\sqrt{g_P}}{100}\cdot\sqrt{\mathbf{B}\,S} = \frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}) = 1\,\mathbf{D.K.S.}\text{-Einheitspol.}$$

Die Faktoren $\sqrt{2}$ und $\sqrt{4\pi}$ stammen aus der **C. G. S.**-Gleichung der magnetischen Tragkraft (vgl. Art. 68) und sollen also, wie die Faktoren $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4\pi}$ dort, keinen Einfluß auf die Einheitsdimension ausüben. Um die Einheitsdimensionen der magnetischen und elektrischen Größen mit denen der mechanischen Größen leichter vergleichen zu können, behandeln wir g in den Dimensionsausdrücken wie eine Zahl. Will man aber die **D. K. S.**-Einheitsdimensionen mit den **C. G. S.**-Einheitsdimensionen vergleichen, so ist es manchmal vorteilhaft, die Dimension von g, d. i. $\mathbf{D\,S^{-2}}$, einzusetzen, um dadurch die Dimensionsausdrücke analogisch zu machen. Wenn man in die soeben angeführte Dimension der **D. K. S.**-Einheit der magnetischen Polstärke anstatt $\frac{1}{\sqrt{g_P}}$ die Quadratwurzel aus der Dimension von g einsetzt, so erhält man $100\,(\mathbf{D}^{3/2}\mathbf{K}^{1/2}\mathbf{S}^{-1}) = 1$ **D. K. S.**-Einheitspol.

Bringt man die Gleichung der Polstärke auf die Form

$$\mathfrak{m} = \sqrt{\frac{2\times 4\pi g_P}{100^2}\,\mathbf{B}\,S} \cong \sqrt{\frac{\mathbf{B}\,S}{4{,}05645}}\,,$$

so findet man, ein Magnetpol besitzt die Einheit der Polstärke oder ist ein Einheitspol, wenn das Produkt aus $\mathbf{B}$ und S gleich 4,05645 ist, vorausgesetzt, daß der gesamte freie Magnetismus des Poles in der Kontaktstelle (der Fläche S) wirkt. Kommt es nicht auf besondere Genauigkeit an, kann man die obige Gleichung in die vereinfachte Gestalt

$$\mathfrak{m} \cong \sqrt{\frac{\mathbf{B}\,S}{4}} \cong \frac{1}{2}\sqrt{\mathbf{B}\,S}$$

setzen.

c. **Magnetismusstärke (Φ).** Nach dem Vorhergehenden würde man als Bestimmungsgleichung erhalten:

$$\Phi = k_\beta\sqrt{\mathbf{B}\,S} = \frac{\sqrt{2\times 4\pi g_P}}{100}\sqrt{\mathbf{B}\,S} \cong 0{,}49651\sqrt{\mathbf{B}\,S} \cong \sqrt{\frac{\mathbf{B}\,S}{4{,}05645}}\,.$$

Die Dimension der Einheit für Magnetismusstärke ist gleich der für Polstärke, nämlich

$$\frac{100}{\sqrt{g_P}}\,(\mathrm{D\,K}^{1/2}) = 1 \text{ D. K. S.-Einheit der Magnetismusstärke.}$$

Die fundamentale physikalische Zusammensetzung oder die physikalische Natur der Einheit ist natürlich $\mathrm{D\,K}^{1/2}$.

Für annähernde Berechnungen der Magnetismusstärke kann man die einfache Formel

$$\Phi \cong \frac{1}{2}\sqrt{\mathbf{B}\,S}$$

benutzen.

d. Spezifische Magnetismusstärke oder **magnetische Dichte (Θ).** Hierfür ergibt sich die Gleichung

$$\Theta = \frac{\Phi}{S} = \frac{\sqrt{2 \times 4\pi\, g_P}\sqrt{\mathbf{B}\,S}}{100\ S} = \frac{\sqrt{2 \times 4\pi\, g_P}}{100}\sqrt{\frac{\mathbf{B}}{S}} \cong 0{,}49651\sqrt{\frac{\mathbf{B}}{S}}.$$

Als Einheitsdimension erhält man

$$\frac{100}{\sqrt{g_P}}\,(\mathrm{D}^{-1}\,\mathrm{K}^{1/2}) = 1 \text{ D. K. S.-Einheit der magnetischen Dichte;}$$

die fundamentale Zusammensetzung der Einheit ist $\mathrm{D}^{-1}\,\mathrm{K}^{1/2}$.

Für die magnetische Dichte kann man annäherungsweise

$$\Theta \cong \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mathbf{B}}{S}}$$

setzen.

e. Magnetische Tragkraft ($\mathfrak{K}$). Aus den Bestimmungsgleichungen für Magnetismusstärke und magnetische Dichte erhält man die Gleichung

$$\mathbf{B} = \mathfrak{K}_1 = \frac{1}{2} \times \frac{10^4}{4\pi\, g_P}\,\frac{\Phi^2}{S} = \frac{1}{2} \times \frac{10^4}{4\pi\, g_P}\,\Theta^2 S \cong 4{,}05645\,\frac{\Phi^2}{S} \cong 4{,}05645\,\Theta^2 S,$$

welche die Tragkraft in Kilogrammen für *eine* Kontaktstelle von dem Flächeninhalt S angibt. Zwei Kontaktstellen von gleicher Größe und Dichte tragen natürlich das Doppelte; darum

$$\mathfrak{K}_2 = \frac{10^4}{4\pi\, g_P}\,\frac{\Phi^2}{S} = \frac{10^4}{4\pi\, g_P}\,\Theta^2 S \cong 8{,}11290\,\frac{\Phi^2}{S} \cong 8{,}11290\,\Theta^2 S.$$

Die Einheitsdimension muß selbstverständlich $\mathrm{K} = 1\ kg$ sein, was sich auch aus den beiden Gleichungen ergibt.

109. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten.

Bei der Aufstellung eines technophysikalischen Maßsystems hat man zu beachten, daß sogen. praktische oder kommerzielle Maßeinheiten für elektromotorische Kraft bezw. elektrische Spannung, elektrische Stromstärke und elektrischen Leitungswiderstand schon in einigen Ländern gesetzlich festgesetzt sind und somit wohl auch, wenigstens bis auf weiteres, in der Technik benutzt werden müssen.

a. Elektromotorische Kraft ($\boldsymbol{E}$). Das im 71. Artikel Gesagte gilt in der Hauptsache auch hier. Berücksichtigt man außerdem das, was im 108. Artikel angeführt wurde, so findet man als algebraische Definition des Begriffes der elektromotorischen Kraft die Gleichung

$$\boldsymbol{E} = \mathbf{10^{-3}}\, \boldsymbol{l\, v\, \theta} = \mathbf{10^{-3}}\, \frac{\boldsymbol{\Phi}}{\boldsymbol{t}}\ \mathit{volt}.$$

Läßt man den Zifferfaktor 10^{-3} fort, so gibt diese Gleichung die elektromotorische Kraft in Millivolts an.

Die Einheitsdimension ist

$$\tilde{\boldsymbol{E}} = \mathbf{10^{-3}} \cdot \boldsymbol{l} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{\theta} = \mathbf{10^{3}} \cdot \mathbf{D} \cdot \frac{\mathbf{D}}{\mathbf{S}} \cdot \frac{\mathbf{100}}{\sqrt{\boldsymbol{g}_{\mathrm{P}}}} \mathbf{D^{-1}\, K^{1/2}} = \frac{\mathbf{10^{5}}}{\sqrt{\boldsymbol{g}_{\mathrm{P}}}} (\mathbf{D\, K^{1/2}\, S^{-1}})$$
$$= \mathbf{1}\, \mathit{volt}.$$

Die fundamentale Zusammensetzung der Einheit ist $\mathbf{D\, K^{1/2}\, S^{-1}}$.

b. Elektrische Stromstärke ($\boldsymbol{A}$). Wenn ein elektrischer Leiter durch eine konstante, äußere Kraft ($\boldsymbol{F}_{\mathrm{m}}$) mit einer unveränderlichen Geschwindigkeit ($\boldsymbol{v}$) quer durch ein gleichförmiges magnetisches Feld bewegt wird, so wird in dem elektrischen Stromkreise, zu welchem der bewegte Leiter gehört, ein konstanter elektrischer Effekt erzeugt, vorausgesetzt, daß der Stromkreis in keiner Weise verändert wird. Unter der Annahme, daß es möglich wäre, die gesamte mechanische Energie vollständig in elektrische Energie umzusetzen, würde die in der Zeiteinheit erzeugte elektrische Energie ($\boldsymbol{P}_{\mathrm{e}}$) mit der in derselben Zeit aufgewandten mechanischen Energie ($\boldsymbol{P}_{\mathrm{m}}$) gleichwertig sein, d. h. man würde, falls die beiden Effekte nach derselben Maßeinheit, d. i. nach Maßeinheiten gleicher Dimension, gemessen würden, schreiben können: $\boldsymbol{P}_{\mathrm{e}} = \boldsymbol{P}_{\mathrm{m}}$. Dieselbe Maßeinheit kann indessen nicht benutzt werden, denn im **D. K. S.**-System hat man 1 *kg* · *dm* : *sec* als Einheit des mechanischen Effekts, und nach Artikel 81 ist die praktische Einheit des elektrischen Effekts 1 *watt* $= 1$ *volt* $\cdot$ *ampère* $= \frac{100}{\overset{\circ}{g}_{\mathrm{P}}}\, kg \cdot mtr : sec = \frac{100}{\tilde{g}_{\mathrm{P}}}\, kg \cdot dm : sec \cong 1{,}0194\, kg \cdot dm : sec$. Man kann also nur die beiden Effekte gleich setzen, wenn man einen Koeffizienten einführt, der das Dimensionsverhältnis der Einheiten berücksichtigt. Bezeichnet man diesen Koeffizienten mit $\mathfrak{k}_{\mathrm{n}}$, so kann man schreiben

$$F_{\mathrm{m}}\, v = P_{\mathrm{m}} = \mathfrak{k}_{\mathrm{n}}\, P_{\mathrm{e}} = \mathfrak{k}_{\mathrm{n}}\, E\, A\; kg \cdot dm : sec\,,$$

woraus sich ergibt die Gleichung

$$A = \frac{F_{\mathrm{m}}\, v}{\mathfrak{k}_{\mathrm{n}}\, E}\; ampère\,.$$

Der numerische Wert des Koeffizienten ist

$$\mathfrak{k}_{\mathrm{n}} = \frac{100}{\tilde{g}_{\mathrm{P}}} \cong \frac{100}{98{,}096} \cong 1{,}0194\,.$$

Führt man diesen Wert in die letzte Gleichung ein, so erhält man als Bestimmungsgleichung für die Stromstärke

$$A = \frac{g_{\mathrm{P}}}{100}\,\frac{F_{\mathrm{m}}\, v}{E} \cong \frac{F_{\mathrm{m}}\, v}{1{,}0194\, E}\; ampère\,.$$

Es ergibt sich als Einheitsdimension

$$\tilde{A} = \frac{g_{\mathrm{P}}}{100} \cdot \frac{F_{\mathrm{m}} \cdot v}{E} = \frac{100}{g_{\mathrm{P}}} \cdot \frac{\mathrm{K} \cdot \mathrm{D\,S}^{-1}}{\frac{10^{5}}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\,\mathrm{D\,K}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}} = \frac{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}{10^{3}\, g_{\mathrm{P}}}\,\mathrm{K}^{1/2} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\,\mathrm{K}^{1/2}$$

$$= 1\; ampère$$

und als fundamentale Zusammensetzung $\mathrm{K}^{1/2}$.

c. Elektrischer Leitungswiderstand (R). Nach dem *Ohmschen* Gesetz ist

$$R = \frac{E}{A}\; ohm\,.$$

Die Dimension der Einheit ist

$$\tilde{\boldsymbol{R}} = \frac{E}{A} = \frac{\frac{10^{5}}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\mathbf{K}^{1/2}} = 10^{8}\,(\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}) = 1\,ohm,$$

und die fundamentale Zusammensetzung derselben ist $\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}$.

d. Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand ($\mathfrak{k}_r$). Für die Vorausberechnung des Widerstandes eines elektrischen Leiters hat man die Formel

$$\boldsymbol{R} = \mathfrak{k}_r \frac{l}{S}\ ohm$$

Daraus erhält man für den Koeffizienten

$\mathfrak{k}_r = \boldsymbol{R}\frac{S}{l}$ *ohm* per *dm* Länge bei einem Querschnitte von 1 dm^2 bei einer bestimmten Temperatur.

Als Einheitsdimension für den Koeffizienten ergibt sich $10^{8}\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}\cdot\mathbf{D} = 10^{8}\,(\mathbf{D}^{2}\,\mathbf{S}^{-1}) = 1\,ohm$ Widerstand eines Würfels, dessen Seite 1 *dm* ist ($= 1$ Ohmdecimeter); die fundamentale Zusammensetzung ist $\mathbf{D}^{2}\,\mathbf{S}^{-1}$.

e. Relativer elektrischer Widerstand ($\mathfrak{k}_u$). Es ist

$$\mathfrak{k}_u = \frac{\mathfrak{k}_{r.2}}{\mathfrak{k}_{r.1}}.$$

Die Einheitsdimension ist natürlich **I**.

f. Elektrische Leitfähigkeit ($\boldsymbol{L}$) und elektrischer Leitungswiderstand sind reziproke Begriffe, und ist somit

$$\boldsymbol{L} = \frac{1}{\boldsymbol{R}} = \frac{1}{\mathfrak{k}_r}\frac{S}{l} = \mathfrak{k}_c\frac{S}{l}\ (mho).$$

Daher die Einheitsdimension $10^{-8}\,(\mathbf{D}^{-1}\,\mathbf{S})$.

g. Spezifische elektrische Leitfähigkeit ($\mathfrak{k}_c$) und spezifischer elektrischer Leitungswiderstand sind reziproke Begriffe. Daher

$$\mathfrak{k}_c = \frac{1}{\mathfrak{k}_r} = \boldsymbol{L}\frac{l}{S}.$$

Die Einheitsdimension ist folglich $10^{-8}\,(\mathbf{D}^{-2}\,\mathbf{S})$.

h. Relative elektrische Leitfähigkeit ($\mathfrak{k}_v$). Es ist

$$\mathfrak{k}_v = \frac{\mathfrak{k}_{c.2}}{\mathfrak{k}_{c.1}}.$$

Daher die Einheitsdimension **I**.

i. Elektrodynamische Spannung (D). Wie in Artikel 78, hat man auch hier

$$D = A R \ \mathit{volt}.$$

Die Maßeinheit ist dieselbe wie für elektromotorische Kraft und hat also die Dimension $\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathrm{D\,K}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1})$.

j. Elektrodynamische Kraft (F_e). Im vorhergehenden haben wir gesehen teils, daß $F_m v = \mathfrak{k}_n E A$ ist, und teils, daß $E = \mathfrak{k}_a l v \theta$ ist. Aus diesen zwei Gleichungen erhält man, wenn man E eliminiert,

$$F_m = \mathfrak{k}_n \mathfrak{k}_a l A \theta \ \mathit{kg}.$$

Da eine innere, elektrische Kraft F_e der äußeren, mechanischen Kraft F_m das Gleichgewicht hält, und da das Produkt aus den Koeffizienten numerisch $\mathfrak{k}_n \mathfrak{k}_a = \frac{100}{g_P} \times \frac{1}{10^3} = \frac{10^{-1}}{g_P}$ ist, so ist auch

$$F_e = \frac{10^{-1}}{g_P} l A \theta \ \mathit{kg}.$$

Die Dimension der Einheit muß natürlich $\mathrm{K} = 1\ \mathit{kg}$ sein, was sich auch aus der Gleichung ergibt, wenn man darin die Einheitsdimensionen der vorkommenden Größen einsetzt.

k. Elektrische Arbeit bezw. **elektrische Energie** (W_e). In Übereinstimmung mit dem in Artikel 80 Angeführten, findet man

$$W_m = F_e l_1 \ \mathit{kg} \cdot \mathit{dm}$$

und, wenn man den soeben für F_e gefundenen Ausdruck einführt, dann

$$W_m = \frac{10^{-1}}{g_P} l A \theta l_1 \ \mathit{kg} \cdot \mathit{dm}.$$

Da $l l_1 = S$ und $\theta S = \Phi = 10^3 E t$ ist, so erhält man

$$W_m = \frac{10^{-1}}{g_P} A \theta S = \frac{10^{-1}}{g_P} A\, 10^3 E t = \frac{100}{g_P} A E t = \frac{100}{g_P} A D t \ \mathit{kg} \cdot \mathit{dm}.$$

In der gegenwärtigen Praxis wird die elektrische Energie in Joules (= *volt* · *ampère* · *sec*) angegeben, und, da 1 *joule* mit $\frac{100}{g_P}\ \mathit{kg} \cdot \mathit{dm}$ gleichwertig ist, so wird

$$W_m = \frac{100}{g_P} W_e \; kg \cdot dm.$$

Setzt man die beiden letzten Ausdrücke für W_m einander gleich, hat man

$$\frac{100}{g_P} W_e = \frac{100}{g_P} A D t,$$

woraus sich alsdann

$$W_e = A D t \; joule$$

als Gleichung der elektrischen Energie ergibt. Da 1 *joule* $\cong 1{,}0194 \; kg \cdot dm$ und folglich $1 \; kg \cdot dm \cong 0{,}98096 \; joule$ ist, so ist der Unterschied in der Größe der **D. K. S.**-Einheiten für mechanische und elektrische Energie nicht bedeutend, und man wird vielleicht späterhin bedauern, daß bei der Bestimmung der praktischen elektrischen Maßeinheiten nicht ein einfaches Verhältnis zu den bestehenden und bewährten praktischen mechanischen Maßeinheiten ($kg \cdot mtr$ u. s. w.) gewählt worden ist.

Da $A = \frac{D}{R}$ ist, erhält man für die elektrische Energie auch noch

$$W_e = \frac{D^2}{R} t = A^2 R t \; joule.$$

Es ist die Einheitsdimension

$$\tilde{W}_e = A \cdot D \cdot t = \frac{\sqrt{g_P}}{10^3 g_P} \mathbf{K}^{1/2} \cdot \frac{10^5}{\sqrt{g_P}} \mathbf{D} \, \mathbf{K}^{1/2} S^{-1} \cdot S = \frac{100}{g_P} (\mathbf{D} \, \mathbf{K})$$
$$\cong 1{,}0194 \, (\mathbf{D} \, \mathbf{K}) = 1 \; joule$$

und die fundamentale Zusammensetzung **D K**.

1. **Elektrische Leistung** oder **elektrischer Effekt** (P_e). Es ist

$$P_e = \frac{W_e}{t} = E A = D A = \frac{D^2}{R} = A^2 R \; watt.$$

Aus Artikel 81 geht hervor, daß 1 *watt* mit $\frac{100}{g_P} \; kg \cdot dm : sec \cong 1{,}0194 \; kg \cdot dm : sec$ und folglich $1 \; kg \cdot dm : sec$ mit $\frac{g_P}{100} \; watt \cong 0{,}98096 \; watt$ gleichwertig ist; ferner, daß 1 PS_m oder $750 \; kg \cdot dm : sec \cong 736 \; watt$ und 1 PS_e oder $550 \; ft \cdot lbs : sec \cong 746 \; watt$ ist.

Die Einheitsdimension ist

$$\tilde{P} = \frac{W_e}{t} = \frac{100}{g_{\mathrm{P}}}(\mathbf{D\,K\,S}^{-1}) \cong 1{,}0194\,(\mathbf{D\,K\,S}^{-1}) = 1 \text{ } \mathit{watt},$$

die fundamentale Zusammensetzung ist $\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$. Wie man sieht, ist der Unterschied zwischen den Dimensionen der **D. K. S.**-Einheiten für elektrische und mechanische Leistung nicht groß.

m. Selbstinduktion. Für die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion E_s hat man hier dieselbe Gleichung wie in Artikel 82, nämlich

$$E_s = \mathfrak{k}_s \frac{d\,A}{d\,t} \text{ } \mathit{volt},$$

woraus der Koeffizient der Selbstinduktion

$$\mathfrak{k}_s = E_s : \frac{d\,A}{d\,t} \text{ } \mathit{henry}.$$

Die Einheitsdimension des Koeffizienten ist

$$\tilde{\mathfrak{k}}_s = \frac{E_s}{A:t} = \frac{\dfrac{10^5}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\mathbf{D\,K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\left(\dfrac{10^{-3}}{\sqrt{g_{\mathrm{P}}}}\mathbf{K}^{1/2}\right):S} = 10^8\left(\frac{\mathbf{D\,K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S}}\right) = 1 \text{ } \mathit{henry}$$

oder

$$\frac{1 \text{ } \mathit{volt}}{1 \text{ } \mathit{ampère} \text{ per } 1 \text{ } \mathit{sec}}$$

und die fundamentale Zusammensetzung $\dfrac{\mathbf{D\,K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S}}$. Der Dimensionsausdruck läßt sich, mathematisch betrachtet, durch Kürzung auf die Form $10^8\,\mathbf{D}$ bringen. Es ist dies dasselbe **D** wie in dem Dimensionsausdruck $10^8\,(\mathbf{D\,S}^{-1})$ der Widerstandseinheit.

n. Gegenseitige Induktion. Die elektromotorische Kraft der gegenseitigen Induktion E_m ist (vgl. Art. 82^b)

$$E_m = \mathfrak{k}_m \frac{d\,A}{d\,t} \text{ } \mathit{volt},$$

woraus der Koeffizient der gegenseitigen Induktion

$$\mathfrak{k}_m = E_m : \frac{d\,A}{d\,t} \text{ } \mathit{henry}.$$

Die Einheitsdimension des Koeffizienten ist natürlich dieselbe wie bei der Selbstinduktion.

o. Dynamische Elektrizitätsmenge (*Q*). Es ist

$$Q = A\,t \; \textit{coulomb}.$$

Die Dimension der Einheit ist $\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}) = 1\,\textit{coulomb}$, und die fundamentale Zusammensetzung derselben ist $\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}$.

p. Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit oder Kapazität (*C*). Hierfür hat man, wie in Artikel 84, die Gleichung

$$C = \mathfrak{f}_d \frac{Q}{D} \; \textit{farad}.$$

Als Einheitsdimension ergibt sich

$$\tilde{C} = \mathfrak{f}_d \cdot \frac{Q}{D} = \mathbf{I} \cdot \frac{\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}}{\frac{10^{5}}{\sqrt{g_P}}\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}} = 10^{-8}\left(\frac{\mathbf{S}}{\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}}\right) = 1\,\textit{farad} = \frac{1\,\textit{coulomb}}{1\,\textit{volt}}$$

und ist die fundamentale Zusammensetzung $\frac{\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}}{\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}} = \frac{\mathbf{S}}{\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}}$.

q. Elektrodynamische Dichte (*i*). Man hat

$$i = \frac{A}{S} \; \textit{ampère} \text{ per } \textit{dm}^2.$$

Es ist die Einheitsdimension $\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\frac{\mathbf{K}^{1/2}}{\mathbf{D}^2}$ und die fundamentale Zusammensetzung $\frac{\mathbf{K}^{1/2}}{\mathbf{D}^2}$.

r. Wechselstromkreise. Für die physikalischen Größen eines Wechselstromkreises gilt das im 86. Artikel Gesagte, worauf wir deshalb von hier aus verweisen. Die hierher gehörigen Gleichungen und Einheitsdimensionen sind in Tabelle VI aufgenommen.

s. Wärmeerzeugung des elektrischen Stromes. Aus dem Vorhergehenden (Art. 109^{k}) geht hervor, daß

$$W_e = \frac{g_P}{100} W_m = D\,A\,t \; \textit{joule}$$

ist. Hieraus erhält man

$$W_m = \frac{100}{g_P} D A t \; kg \cdot dm.$$

Da nun auch

$$W_m \cong 4280 \, \mathfrak{W} \; kg \cdot dm$$

ist, so ergibt sich aus den beiden letzten Gleichungen, wenn man, um W_m zu eliminieren, die beiden Ausdrücke für W_m einander gleich setzt,

$$\mathfrak{W} = \mathfrak{W}_e \cong \frac{1}{4280} \frac{100}{g_P} D A t \cong 2{,}3840 \times 10^{-4} D A t \; cal.$$

An die Stelle von $D_e A t$ kann man natürlich $\frac{D^2}{R} t$, $A^2 R t$ oder $D Q$ einführen.

Die Dimension der Wärmeeinheit ist $4280 (\mathbf{D}\,\mathbf{K}) = 1$ Kalorie, und die fundamentale Zusammensetzung ist $\mathbf{D}\,\mathbf{K} = 1$ *kg · dm.* Vgl. Artikel 38.

t. **Temperaturzunahme** ($\mathfrak{T}_e$) in einem Leiter infolge elektrischen Stromes. Aus Artikel 88 ist zu ersehen, daß

$$\mathfrak{T}_e = 2{,}3840 \times 10^{-4} \frac{\mathfrak{t}_r}{k_p k_G} \left(\frac{A}{S}\right)^2 t \; \textit{Celsius}\text{-Grad}.$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich die Dimension der Temperatureinheit $4280 \frac{\mathbf{D}\,\mathbf{K}}{K} = 4280 \, \mathbf{D}$ und die fundamentale Zusammensetzung derselben $\mathbf{D}$.

u. **Elektrochemie.** Das in Artikel 89 Gesagte gilt auch hier, und brauchen wir deshalb nur darauf zu verweisen.

110. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

Die in den Artikeln 92—97 angeführten Formeln sind die hauptsächlichsten, die man für die elektromagnetischen Berechnungen braucht, und werden darum im folgenden auch für das **D. K. S.**-System benutzt, obzwar wir sie etwas anders herleiten, um zu zeigen, daß die Sache von verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachtet werden kann.

a. Magnetismusstärke (Φ). Wird ein Leiter *a*—*b* (Fig. 39) von einem elektrischen Strom der Stärke A durchflossen, so wird die Magnetismusstärke Φ für eine Länge l_1, wenn k_μ die spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit des den elektrischen Leiter umgebenden Stoffes und k_ε einen Koeffizienten, der auf das benutzte Maßsystem Bezug hat, bezeichnet,

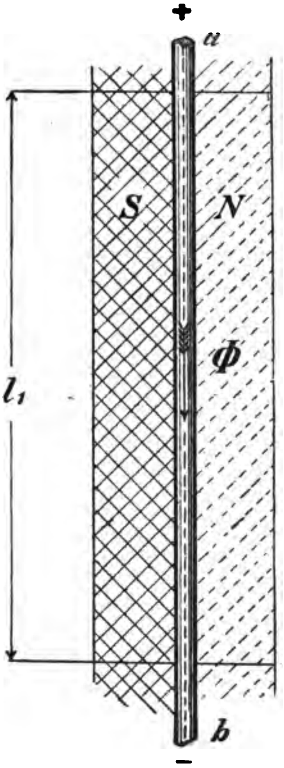

Fig. 39.

$$\Phi = k_\varepsilon \, k_\mu \, A \, l_1 .$$

Aus dem Vorhergehenden wissen wir, daß der numerische Wert von k_μ nicht nur bei den verschiedenen Stoffen verschieden ist, sondern sich auch bei demselben Stoffe mit der magnetischen Dichte ändert. Für Luft nimmt man an, daß der Wert konstant und gleich 1 ist.

Wenn der gerade Leiter gebogen wird, so daß die Länge l_1 eine Schleife oder einen Ring vom Halbmesser r (Fig. 40) bildet, so wird die Magnetismusstärke innerhalb des Ringes, da $l_1 = 2\pi r$ ist,

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 2\pi r A.$$

Besteht der Ring aus mehreren Windungen $\mathfrak{N}$, wovon jede die Stromstärke A hat, so erhält man

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 2\pi r A\mathfrak{N}.$$

Das Ergebnis der Magnetisierung ist, wie man sieht, der Länge des magnetisierenden Leiters $l_1 = 2\pi r \mathfrak{N}$ direkt proportional. Anstatt der Länge dieses Leiters kann man die sogen. Windungsfläche, die Fläche des Kreises vom Halbmesser r (in der Praxis den Querschnitt des Magnetkernes), einführen. Wenn man den Ausdruck rechts in der letzten Gleichung mit r multipliziert und durch r dividiert, so kann die Gleichung auf die Gestalt

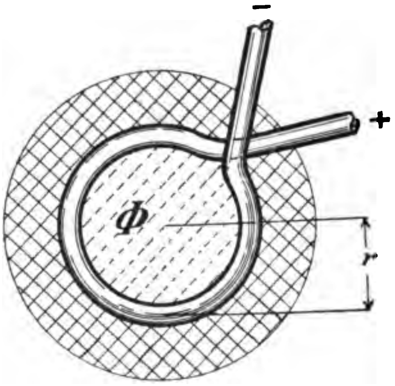

Fig. 40.

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 2\pi r A\mathfrak{N}\frac{r}{r} = k_\varepsilon k_\mu 2\frac{A\mathfrak{N}}{r}S$$

gebracht werden.

Wickelt man den magnetisierenden Leiter auf einen geschlossenen Eisenring vom mittleren Durchmesser $2r$ (Fig. 41 u. 42) so auf, daß die kreisförmige Windung (bezw. Windungen) zentral durch den Ring hindurchgeht und im Verhältnis zu dem kreisförmigen Querschnitte des Ringes konzentrisch zu liegen kommt und somit auch einen mittleren Durchmesser von $2r$ erhält, so entsteht ein magne-

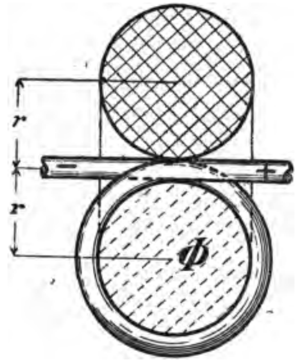

Fig. 41.

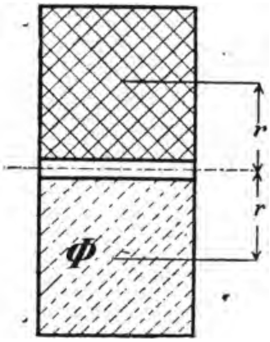

Fig. 43.

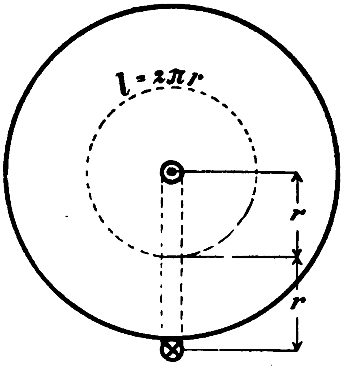

Fig. 42.

tischer Kreis von einfachster Form (vgl. Fig. 10) und von der mittleren Länge

$$l = 2\pi r,$$

woraus

$$r = \frac{l}{2\pi}.$$

Führt man diesen Ausdruck für r in die letzte Gleichung der Magnetismusstärke ein, erhält man

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 4\pi \frac{A\mathfrak{N}}{l} S\,,$$

also dieselbe Gleichung wie die, welche in Artikel 92 auf andere Weise gefunden wurde. Die Figur 42 zeigt nur eine einzige Windung; vorteilhafter ist es natürlich, wenn der magnetisierende Strom auf eine größere Anzahl Windungen und diese Windungen auf den ganzen magnetischen Kreis gleichmäßig verteilt werden.

Falls der Ring, welcher den magnetischen Kreis bildet und auf welchen der magnetisierende Leiter aufgewickelt ist, einen quadratischen Querschnitt (Fig. 42 und 43) hat, wird die Länge einer Windung gleich $4 \times 2r$ und folglich

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 8 r A\mathfrak{N}\,.$$

Wenn der Ausdruck rechts von dem Gleichheitszeichen mit r multipliziert und durch r dividiert wird, so ergibt sich, da die Windungsfläche

$$S = (2r)^2 = 4r^2$$

ist, die Gleichung

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 8 r A\mathfrak{N} \frac{r}{r} = k_\varepsilon k_\mu 2 \frac{A\mathfrak{N}}{r} S\,.$$

Die mittlere Länge des magnetischen Kreises ist in diesem Falle auch

$$l = 2\pi r\,,$$

woraus

$$r = \frac{l}{2\pi}\,.$$

Setzt man diesen Ausdruck für r in die letzte Gleichung der Magnetismusstärke ein, so geht die Gleichung, wie vorhin, in die Form über:

$$\Phi = k_\varepsilon k_\mu 4\pi \frac{A\mathfrak{N}}{l} S\,.$$

Der numerische Wert des Koeffizienten k_ε ist für das **D. K. S.**-System gleich 10^{-5}. Es ist also in diesem System

$$\Phi = \frac{4\pi}{10^5} k_\mu \frac{A\mathfrak{R}}{l} S \text{ Einheiten der Magnetismusstärke.}$$

Die Einheitsdimension ist

$$10^5 \cdot 1 \cdot \frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}} \mathrm{K}^{1/2} \cdot 1 \cdot \mathrm{D}^2 \cdot \mathrm{D}^{-1} = \frac{100}{\sqrt{g_P}} (\mathrm{D}\,\mathrm{K}^{1/2}),$$

wie bereits in Artikel 108^c angegeben.

b. Spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte (θ). Es ist, wie vorher,

$$\theta = \frac{\Phi}{S}.$$

Die Einheitsdimension ist

$$\frac{100}{\sqrt{g_P}} (\mathrm{D}^{-1}\,\mathrm{K}^{1/2}) = 1 \text{ D.K.S.-Einheit der magnetischen Dichte.}$$

c. Elektrische Magnetisierung oder Erregung ($A\mathfrak{R}$). Aus der Bestimmungsgleichung der Magnetismusstärke erhält man

$$A\mathfrak{R} = \frac{10^5}{4\pi} \frac{\Phi\, l}{k_\mu S} = \frac{10^5}{4\pi} \frac{\theta\, l}{k_\mu} \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen.}$$

Als Einheitsdimension ergibt sich

$$\frac{1}{10^5} \cdot \frac{100}{\sqrt{g_P}} \mathrm{D}^{-1}\,\mathrm{K}^{1/2} \cdot \frac{\mathrm{D}}{1} = \left(\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}} \mathrm{K}^{1/2}\right) \mathrm{I}_{\mathfrak{R}} = 1 \text{ Ampère} \cdot \text{Windung.}$$

d. Spezifische elektrische Magnetisierung ($\mathfrak{K}$) ist die Magnetisierung auf die Längeneinheit. Folglich ist

$$\mathfrak{K} = \frac{A\mathfrak{R}}{l}.$$

Daher die Dimension der Einheit

$$\frac{\left(\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}} \mathrm{K}^{1/2}\right) \mathrm{I}_{\mathfrak{R}}}{D} = 1 \text{ Ampère} \cdot \text{Windung per } dm.$$

e. Spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit (k_μ). Aus der Bestimmungsgleichung der Magnetismusstärke ergibt sich

$$k_\mu = \frac{10^5}{4\pi} \frac{\Phi l}{S A \mathfrak{R}} = \frac{10^5 \theta}{4\pi \mathfrak{R}}.$$

Die Einheitsdimension ist

$$\tilde{\mathfrak{k}}_\mu = \frac{10^5}{4\pi} \cdot \frac{\Phi : S}{A \mathfrak{R} : l} = \frac{1}{10^5} \frac{\left(\frac{100}{\sqrt{g_P}} \mathrm{D}\, \mathrm{K}^{1/2}\right) \cdot \mathrm{D}^{-2}}{\left(\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}} \mathrm{K}^{1/2}\right) \cdot \mathrm{D}^{-1}} = \mathrm{I}.$$

Für Luft, wo man $k_\mu \triangleq 1$ setzt, hat man (vgl. Art. 96)

$$\mathfrak{R} = \frac{10^5}{4\pi} \theta,$$

und läßt sich die für eine gegebene Dichte erforderliche spezifische elektrische Magnetisierung unmittelbar berechnen. Bei anderen Substanzen, wo keine Proportionalität zwischen θ und $\mathfrak{R}$ besteht, läßt sich die Magnetisierung aber nicht durch Berechnung allein bestimmen. Hier muß sich die Berechnung auf Ergebnisse vorher vorgenommener Versuche stützen. Man setzt

$$\mathfrak{R} = f(\theta)$$

und ermittelt versuchsweise für die in Frage kommenden Substanzen eine genügende Anzahl zusammengehöriger Werte von $\mathfrak{R}$ und θ, stellt die gefundenen Zahlenwerte tabellarisch oder des besseren Überblickes halber in Form von Kurven, Magnetisierungskurven, zusammen und benutzt alsdann die Tabellen oder Kurven bei der Berechnung, indem man daraus die einer gegebenen magnetischen Dichte entsprechenden Ampère • Windungen per Decimeter abliest. — Die in Figur 35 gezeichneten Magnetisierungskurven können für das **D. K. S.**-System benutzt werden, wenn man die Abscissenwerte ($\mathfrak{R}$) mit 10 multipliziert und die Ordinatenwerte ($\mathfrak{b}$) durch 10^3 dividiert.

f. Berechnung magnetischer Kreise. Es gilt auch hier in der Hauptsache das, was in den Artikeln 97 und 98 gesagt wurde, und brauchen wir deshalb hier nur die Gleichungen für das **D. K. S.**-System umzuschreiben:

Man hat für die Magnetismusstärke (vgl. Fig. 38)

$$\Phi = \frac{4\pi}{10^5} A\mathfrak{N} \left(k_{\mu.1} \frac{S_1}{l_1} + k_{\mu.2} \frac{S_2}{l_2} + k_{\mu.3} \frac{S_3}{l_3} + k_{\mu.4} \frac{S_4}{l_4} \right) \left\{ \begin{array}{l} \text{D.K.S.-Einheit} \\ \text{der Magne-} \\ \text{tismusstärke} \end{array} \right.$$

und für die elektrische Magnetisierung

$$A\mathfrak{N} = \frac{10^5}{4\pi} \left(\frac{\theta_1 l_1}{k_{\mu.1}} + \frac{\theta_2 l_2}{k_{\mu.2}} + \frac{\theta_3 l_3}{k_{\mu.3}} + \frac{\theta_4 l_4}{k_{\mu.4}} \right) \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen}$$

oder allgemein

$$A\mathfrak{N} = f(\theta_1)\, l_1 + f(\theta_2)\, l_2 + f(\theta_3)\, l_3 + f(\theta_4)\, l_4 \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen.}$$

In der folgenden Tabelle (VI) sind die im vorhergehenden geschilderten Größen in Bezug auf das **D. K. S.**-System planmäßig zusammengestellt; die Tabelle gibt auch das Größenverhältnis der **D. K. S.**-Einheiten zu den **C. G. S.**-Einheiten an.

Tabelle

111. Tabellarische Zusammenstellung der technophysi- sowie der Dimensionsausdrücke der Maß-

Die technophysikalische Größe			
Artikel	**Name**	**Algebraische Bezeichnung**	**Gleichung**
			Geometrische
103	Länge	l	$\tilde{l}$ = eine Zahl
103	Breite	b	$\tilde{b}$ = eine Zahl
103	Höhe, Dicke, Tiefe	h	$\tilde{h}$ = eine Zahl
103	Fläche	S	$\tilde{S} = l\,b$
103	Volumen	V	$\tilde{V} = S\,h = S\,l$
103	Kreishalbmesser	r	$\tilde{r}$ = eine Zahl
103	Kreisdurchmesser	d	$\tilde{d} = 2\,r$
103	Kreisumfang	o	$\tilde{o} = \pi\,d$
103	Kreisbogen	s	$\tilde{s}$ = eine Zahl
103	Ebener Winkel:		
	a. in Bogenmaß	α	$\tilde{\alpha} = \frac{s}{r}$
	b. in Gradmaß	β, γ, δ	$\tilde{\beta}, \tilde{\gamma}, \tilde{\delta}$ = eine Zahl
103	Räumlicher Winkel	σ	$\tilde{\sigma} = \frac{S}{r^2}$
			Mechanische
104	Zeit	t	$\tilde{t}$ = eine Zahl
104	Geschwindigkeit	v	$\tilde{v} = \frac{l}{t}$
104	Rotationsgeschwindigkeit:		
	a. Umdrehungszahl	m_x	$\tilde{m}_x$ = eine Zahl
	a. Umdrehungen per Zeiteinheit	n	$\tilde{n} = \frac{m_x}{t}$

VI.

kalischen Größen und deren Bestimmungsgleichungen, einheiten in Bezug auf das D. K. S.-System.

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
Größen:			
D	D	Decimeter (*dm*)	10
D	D	*dm*	10
D	D	*dm*	10
D^2	D^2	Quadratdecimeter (dm^2)	100
D^3	D^3	Kubikdecimeter (dm^3)	1000
D	D	*dm*	10
D	D	*dm*	10
D	D	*dm*	10
D	D	*dm*	10
I oder I_α	I	Radiant (Eins)	1
I oder I_β, I_γ, I_δ	I	Grad (°) Minute (′) Sekunde (″) (Eins)	1
I oder I_σ	I	Steradiant (Eins)	1
Größen:			
S	S	Sekunde (*sec*)	1
$D\,S^{-1}$	$D\,S^{-1}$	*dm* per *sec*	10
I oder I_{mx}	I	Umdrehung (Eins)	1
$I_{mx}\,S^{-1}$	$I\,S^{-1}$	Umdrehung per *sec*	1

Die technophysikalische Größe			
Artikel	**Name**	**Algebraische Bezeichnung**	**Gleichung**
	b. Winkelgeschwindigkeit	w	$\tilde{w} = \frac{a}{t} = \frac{v}{r}$
104 104	Beschleunigung bezw. Verzögerung im allgemeinen	a	$\tilde{a} = \frac{v}{t}$
104	Winkelbeschleunigung	a_w	$\tilde{a}_w = \frac{w}{t}$
104	Fallbeschleunigung	g	$\tilde{g} = \frac{v}{t} (\tilde{g}_P = 98{,}096)$
104	Gewicht	G	$\tilde{G} =$ eine Zahl
104	Spezifisches Gewicht	k_G	$\tilde{k}_G = \frac{G}{V}$
104	Relatives Gewicht	k_g	$\tilde{k}_g = \frac{k_{G.2}}{k_{G.1}}$
104	Spezifisches Volumen	k_V	$\tilde{k}_V = \frac{V}{G}$
104	Masse	M	$\tilde{M} = G =$ eine Zahl
104	Spezifische Masse	k_M	$\tilde{k}_M = \frac{M}{V}$
104	Relative Dichte	k_m	$\tilde{k}_m = \frac{k_{M.2}}{k_{M.1}}$
104^a	Schwere	U	$\tilde{U} = \frac{g}{g_P} G$
104^b	Schwerkraft	U_F	$\tilde{U}_F = U$
104^c	Mechanische Kraft	F_m	$\tilde{F}_m = \frac{g}{g_P} G$
104^d	Mechanische Arbeit	W_m	$\tilde{W}_m = F_m l$
104^d	Mechanische Leistung	P_m	$\tilde{P}_m = \frac{W_m}{t}$
104^e	Mechanische Energie:	K	
	a. potentielle	K_p	$\tilde{K}_p = U h = \frac{g}{g_P} G h$
	b. kinetische	K_k	$\tilde{K}_k = \frac{G}{g_P} \frac{v^2}{2}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
$\mathbf{I}_a\,\mathbf{S}^{-1}$	$\mathbf{I\,S}^{-1}$	Radiant per *sec*	1
$\mathbf{D\,S}^{-2}$	$\mathbf{D\,S}^{-2}$	*dm* per *sec*^{2}	10
$\mathbf{I}_a\,\mathbf{S}^{-2}$	$\mathbf{I\,S}^{-2}$	Radiant per *sec*^{2}	1
$\mathbf{D\,S}^{-2}$	$\mathbf{D\,S}^{-2}$	*dm* per *sec*^{2}	10
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	Kilogramm (*kg*)	1000
$\mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$	$\mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$	*kg* per *dm*^{3}	1
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1
$\mathbf{D}^3\,\mathbf{K}^{-1}$	$\mathbf{D}^3\,\mathbf{K}^{-1}$	*dm*^{3} per *kg*	1
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	1000
$\mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$	$\mathbf{D}^{-3}\,\mathbf{K}$	*kg* per *dm*^{3}	1
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$\mathbf{D\,K}$	$\mathbf{D\,K}$	*kg · dm*	$10^5\,\tilde{g}$
$\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$	$\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$	*kg · dm : sec*	$10^5\,\tilde{g}$
$\mathbf{D\,K}$	$\mathbf{D\,K}$	*kg · dm*	$10^5\,\tilde{g}$
$\mathbf{D\,K}$	$\mathbf{D\,K}$	*kg · dm*	$10^5\,\tilde{g}$

Die technophysikalische Größe			
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung
104^{f}	Massenmoment	O	$\tilde{O} = \sum M r^2$
104^{g}	Antrieb der Kraft	I	$\tilde{I} = F_m t$
104^{g}	Bewegungsgröße	B	$\tilde{B} = \frac{G}{g_P} v$
104	Druck, Zug, Spannung	D_x	$\tilde{D}_x = \tilde{F}_m$
104	Spezifischer Druck	k_{Dx}	$\tilde{k}_{Dx} = \frac{D_x}{S}$
104	Kraftmoment:	H	
	a. biegendes	H_b	$\tilde{H}_b = F_m l$
	b. drehendes	H_d	$\tilde{H}_d = F_m r$
104	Spezifische Elastizität	k_e	$\tilde{k}_e = \left(\frac{\Delta l}{l}\right) : \left(\frac{D_x}{S}\right)$
104	Spezifische Inelastizität	k_i	$\tilde{k}_i = \left(\frac{D_x}{S}\right) : \left(\frac{\Delta l}{l}\right)$
104	Festigkeitskoeffizienten:		
	a. Bruchkoeffizient	k_b	$\tilde{k}_b = \frac{D_{x.b}}{S}$
	b. Tragfähigkeitskoeffizient	k_t	$\tilde{k}_t = \frac{D_{x.t}}{S}$
	c. Formbeständigkeitskoeffizient	k_f	$\tilde{k}_f = \frac{D_{x.f}}{S}$
104	Querschnittsmoment:	J	
	a. äquatoriales	J_e	$\tilde{J}_e = \sum S l^2$
	b. polares	J_p	$\tilde{J}_p = J_{e.1} + J_{e.2}$
104	Widerstandsmoment der Querschnitte:	T	
	a. gegen Biegung	T_b	$\tilde{T}_b = k_{Dx} \frac{J_e}{l_e}$
	b. gegen Drehung	T_d	$\tilde{T}_d = k_{Dx} \frac{J_p}{l_p}$
104	Gravitationskraft	U_x	$\tilde{U}_x = k_{Ux} \frac{M M_1}{l^2}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D.K.S.-Einheit zur C.G.S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
$K(\perp D^2)$	**$K(\perp D^2)$**	$kg \perp dm^2$	10^5
KS	**KS**	$kg \cdot sec$	$10^4\,\tilde{g}$
KS	**KS**	$kg \cdot sec$	$10^4\,\tilde{g}$
K	**K**	kg	$10^4\,\tilde{g}$
$D^{-2}K$	**$D^{-2}K$**	kg per dm^2	$10^2\,\tilde{g}$
$D \perp K$	**$D \perp K$**	$kg \perp dm$	$10^5\,\tilde{g}$
$D \perp K$	**$D \perp K$**	$kg \perp dm$	$10^5\,\tilde{g}$
$\frac{I}{D^{-2}K}$	**$\frac{I}{D^{-2}K}$**	Eins per (kg per dm^2)	$\frac{10^{-2}}{\tilde{g}}$
$\frac{D^{-2}K}{I}$	**$\frac{D^{-2}K}{I}$**	(kg per dm^2) per Eins	$10^2\,\tilde{g}$
$D^{-2}K$	**$D^{-2}K$**	kg per dm^2	$10^2\,\tilde{g}$
$D^{-2}K$	**$D^{-2}K$**	kg per dm^2	$10^2\,\tilde{g}$
$D^{-2}K$	**$D^{-2}K$**	kg per dm^2	$10^2\,\tilde{g}$
$D^2(\perp D^2)$	**$D^2(\perp D^2)$**	$dm^2 \perp dm^2$	10^4
$D^2(\perp D^2)$	**$D^2(\perp D^2)$**	$dm^2 \perp dm^2$	10^4
$D \perp K$	**$D \perp K$**	$kg \perp dm$	$10^5\,\tilde{g}$
$D \perp K$	**$D \perp K$**	$kg \perp dm$	$10^5\,\tilde{g}$
K	**K**	kg	$10^4\,\tilde{g}$

Die technophysikalische Größe			
Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung
104	Gravitationskoeffizient	k_{UX}	$\tilde{k}_{UX} = \frac{U_X l^2}{M M_1}$
104	Mechanisches Potential	V_X	$\tilde{V}_X = k_{UX} \frac{M}{l}$
104	Mechanische Potentialdifferenz	$V_{X.d}$	$\tilde{V}_{X.d} = k_{UX} M \left(\frac{1}{l_I} - \frac{1}{l_{II}}\right)$
			Kalorische
105	Kalorische Kraft	$\mathfrak{F}$	$\tilde{\mathfrak{F}}$
105	Wärmemenge Kalorische Energie	$\mathfrak{W}$	$\tilde{\mathfrak{W}} = \frac{W_m}{4280}$
105	Kalorischer Effekt	$\mathfrak{P}$	$\tilde{\mathfrak{P}} = \frac{\mathfrak{W}}{t}$
105	Temperatur	$\mathfrak{T}$	$\tilde{\mathfrak{T}} = \frac{\mathfrak{W}}{M_{eau}}$
105	Spezifische Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	$k_{\mathfrak{p}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{p}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{p}}}{G \mathfrak{T}}$
105	Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	$k_{\mathfrak{r}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{r}} = \frac{k_{\mathfrak{p}.2}}{k_{\mathfrak{p}.1}}$
105	Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit	$k_{\mathfrak{v}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{v}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{v}}}{V \mathfrak{T}}$
105	Wärmeleit(ungs)koeffizient	$k_{\mathfrak{c}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{c}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{c}} l}{S t \mathfrak{T}_d}$
105	Wärmestrahlungskoeffizient	$k_{\mathfrak{s}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{s}} = \frac{1}{k_{\mathfrak{r}}} \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{s}}}{S t \mathfrak{T}_d}$
105	Ausdehnungskoeffizient (linearer)	$k_{\mathfrak{b}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{b}} = \frac{\Delta l}{l} \frac{1}{\mathfrak{T}_d}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D.K.S.-Einheit zur C.G.S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}\cdot\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{K}}$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}\cdot\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{K}}$	D. K. S.-Einh. des Gravit.-koeff.	$\tilde{g}$
$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}$	*kg* · *dm* per *kg*	$10^2\,\tilde{g}$
$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}$	*kg* · *dm* per *kg*	$10^2\,\tilde{g}$
Größen:			
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$4280\,(\mathbf{D\,K})$	$\mathbf{D\,K}$	Kalorie (*cal*)	$4{,}28\times10^8\,\tilde{g}$
$4280\,(\mathbf{D\,K\,S}^{-1})$	$\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$	*cal* per *sec*	$4{,}28\times10^8\,\tilde{g}$
$\frac{4280\,(\mathbf{D\,K})}{\mathbf{K}}$ oder $[4280\,\mathbf{D}]$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}}$ oder $[\mathbf{D}]$	Temperaturgrad nach Celsius (*cels*), *cal* per *kg* oder [*dm*]	$4{,}28\times10^5\,\tilde{g}$
$\frac{4280\,(\mathbf{D\,K})}{\mathbf{K}\cdot 4280\,\mathbf{D}}$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{K}\cdot\mathbf{D}}$	*cal* per (*kg* · *cels*)	1
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1
$\frac{4280\,(\mathbf{D\,K})}{\mathbf{D}^3\cdot 4280\,\mathbf{D}}$	$\frac{\mathbf{D\,K}}{\mathbf{D}^3\cdot\mathbf{D}}$	*cal* per (*dm*^{3} · *cels*)	1
$\frac{4280\,(\mathbf{D\,K\,S}^{-1})}{\mathbf{D}\cdot 4280\,\mathbf{D}}$	$\frac{\mathbf{D\,K\,S}^{-1}}{\mathbf{D}\cdot\mathbf{D}}$	(*cal* : *sec*) per (*dm* · *cels*)	100
$\frac{4280\,(\mathbf{D\,K\,S}^{-1})}{\mathbf{D}^2\cdot 4280\,\mathbf{D}}$	$\frac{\mathbf{D\,K\,S}^{-1}}{\mathbf{D}^2\cdot\mathbf{D}}$	(*cal* : *sec*) per (*dm*^{2} · *cels*)	10
$\frac{\mathbf{I}}{4280\,\mathbf{D}}$	$\mathbf{D}^{-1}$	Eins per Celsius	$\frac{1}{4{,}28\times10^5\,\tilde{g}}$

Die technophysikalische Größe

Artikel	Name	Algebraische Bezeichnung	Gleichung
105	Spezifische Schmelzwärme	$k_{\mathfrak{f}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{f}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{f}}}{G}$
105	Spezifische Verdampfungswärme	$k_{\mathfrak{s}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{s}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{s}}}{G}$
105	Spezifische Verbrennungswärme	$k_{\mathfrak{h}}$	$\tilde{k}_{\mathfrak{h}} = \frac{\mathfrak{W}_{\mathfrak{h}}}{G}$

Optische

106	Optische Kraft	$\mathfrak{F}_x$	$\tilde{\mathfrak{F}}_x$
106	Lichtstärke	$\mathfrak{J}$	$\tilde{\mathfrak{J}} = \frac{1}{k_m} \frac{P : S^3}{(k_s \mathfrak{T}_d)^2}$
106	Spezifischer optischer Effekt		
106	Optischer Effekt	$\mathfrak{P}_x$	$\tilde{\mathfrak{P}}_x = \mathfrak{J} S$
106	Optische Energie	$\mathfrak{W}_x$	$\tilde{\mathfrak{W}}_x = \mathfrak{J} S t$
106	Lichtstrom	$\mathfrak{S}$	$\tilde{\mathfrak{S}} = \sigma \mathfrak{J} = \frac{S}{r^2} \mathfrak{J}$
106	Beleuchtungsstärke	$\mathfrak{B}$	$\tilde{\mathfrak{B}} = \frac{\mathfrak{S}}{S}$
106	Spezifische Lichtmenge	$\mathfrak{M}$	$\tilde{\mathfrak{M}} = \mathfrak{S} t$
106	Belichtung	$\mathfrak{E}$	$\tilde{\mathfrak{E}} = \mathfrak{B} t = \frac{\mathfrak{M}}{S}$

Da wir keine besondere Gruppe für akustische Größen haben,

Akustische Kraft	$\mathfrak{F}_z$	$\tilde{\mathfrak{F}}_z$
Akustische Energie	$\mathfrak{W}_z$	$\tilde{\mathfrak{W}}_z$
Akustischer Effekt	$\mathfrak{P}_z$	$\tilde{\mathfrak{P}}_z$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
$\frac{4280\,(\mathrm{D\,K})}{\mathrm{K}}$	$\frac{\mathrm{D\,K}}{\mathrm{K}}$	*cal* per *kg*	$4{,}28 \times 10^5\,\tilde{g}$
$\frac{4280\,(\mathrm{D\,K})}{\mathrm{K}}$	$\frac{\mathrm{D\,K}}{\mathrm{K}}$	*cal* per *kg*	$4{,}28 \times 10^5\,\tilde{g}$
$\frac{4280\,(\mathrm{D\,K})}{\mathrm{K}}$	$\frac{\mathrm{D\,K}}{\mathrm{K}}$	*cal* per *kg*	$4{,}28 \times 10^5\,\tilde{g}$

Größen:

K	K	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$k_m\,(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}$	$(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}$	$k_m\,(kg \cdot dm : sec)$ per dm^2	—
$\mathrm{D\,K\,S^{-1}}$	$\mathrm{D\,K\,S^{-1}}$	$kg \cdot dm : sec$	$10^5\,\tilde{g}$
$\mathrm{D\,K}$	$\mathrm{D\,K}$	$kg \cdot dm$	$10^5\,\tilde{g}$
$k_m\,(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}$	$(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}$	$k_m\,(kg \cdot dm : sec)$ per dm^2	—
$k_m\,[(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}]\,\mathrm{D^{-2}}$	$[(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{D^{-2}}]\,\mathrm{D^{-2}}$	$k_m\,(kg \cdot dm : sec)$ per dm^2 per dm^2	—
$k_m\,(\mathrm{D\,K})\,\mathrm{D^{-2}}$	$(\mathrm{D\,K})\,\mathrm{D^{-2}}$	$k_m\,(kg \cdot dm)$ per dm^2	—
$k_m\,[(\mathrm{D\,K})\,\mathrm{D^{-2}}]\,\mathrm{D^{-2}}$	$[(\mathrm{D\,K})\,\mathrm{D^{-2}}]\,\mathrm{D^{-2}}$	$k_m\,(kg \cdot dm)$ per dm^2 per dm^2	—

mögen die folgenden an dieser Stelle mit angeführt werden:

K	K	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$\mathrm{D\,K}$	$\mathrm{D\,K}$	$kg \cdot dm$	$10^5\,\tilde{g}$
$\mathrm{D\,K\,S^{-1}}$	$\mathrm{D\,K\,S^{-1}}$	$kg \cdot dm : sec$	$10^5\,\tilde{g}$

Die technophysikalische Größe			
Artikel	**Name**	**Algebraische Bezeichnung**	**Gleichung**
			Magnetische
108^{a}	Magnetische Kraft	Ѣ	$\tilde{\text{Ѣ}}$
	Magnetische Energie	Э	$\tilde{\text{Э}}$
	Magnetischer Effekt	Щ	$\tilde{\text{Щ}}$
108^{b}	Magnetische Polstärke	Ш	$\tilde{\text{Ш}} = \frac{\sqrt{2 \times 4 \pi g_P}}{100} \sqrt{\text{Ѣ}\, S}$
108^{c}	Magnetismusstärke	Φ	$\tilde{\Phi} = \frac{\sqrt{2 \times 4 \pi g_P}}{100} \sqrt{\text{Ѣ}\, S}$
108^{d}	Magnetische Dichte	θ	$\tilde{\theta} = \frac{\Phi}{S}$
108^{e}	Magnetische Tragkraft:	Ю	
	a. eine Trennungsstelle	Ю_1	$\tilde{\text{Ю}}_1 = \frac{1}{2} \times \frac{10^4}{4 \pi g_P} \theta^2 S$
	b. zwei Trennungsstellen	Ю_2	$\tilde{\text{Ю}}_2 = \frac{10^4}{4 \pi g_P} \theta^2 S$
			Elektrodynamische
109^{a}	Elektromotorische Kraft	E	$\tilde{E} = 10^{-3}\, l\, v\, \theta$
109^{b}	Elektrische Stromstärke	A	$\tilde{A} = \frac{g_P}{100} \frac{F_m v}{E}$
109^{c}	Elektrischer Leitungswiderstand	R	$\tilde{R} = \frac{E}{A}$
109^{d}	Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{t}_r$	$\tilde{\mathfrak{t}}_r = R \frac{S}{l}$
109^{e}	Relativer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{t}_u$	$\tilde{\mathfrak{t}}_u = \frac{\mathfrak{t}_{r.2}}{\mathfrak{t}_{r.1}}$
109^{f}	Elektrische Leit(ungs)-fähigkeit	L	$\tilde{L} = \frac{1}{R} = \mathfrak{t}_c \frac{S}{l}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
Größen:			
K	**K**	*kg*	$10^4 \tilde{g}$
D K	**D K**	*kg · dm*	$10^5 \tilde{g}$
$\mathbf{D\,K\,S^{-1}}$	$\mathbf{D\,K\,S^{-1}}$	*kg · dm : sec*	$10^5 \tilde{g}$
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D\,K^{1/2}}$	**D. K. S.**-Einheitspol	—
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D\,K^{1/2}}$	**D. K. S.**-Einheit der Magnetismusstärke	10^5
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D^{-1}\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D^{-1}\,K^{1/2}}$	**D. K. S.**-Einheit der magnetischen Dichte	10^8
K	**K**	*kg*	$10^4 \tilde{g}$
K	**K**	*kg*	$10^4 \tilde{g}$
Größen:			
$\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D\,K^{1/2}\,S^{-1}})$	$\mathbf{D\,K^{1/2}\,S^{-1}}$	*volt*	10^8
$\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\mathbf{K^{1/2}}$	$\mathbf{K^{1/2}}$	*ampère*	10^{-1}
$10^8(\mathbf{D\,S^{-1}})$	$\mathbf{D\,S^{-1}}$	*ohm*	10^9
$10^8(\mathbf{D^2\,S^{-1}})$	$\mathbf{D^2\,S^{-1}}$	*ohm · dm*	10^{10}
I	**I**	Eins	1
$10^{-8}(\mathbf{D^{-1}\,S})$	$\mathbf{D^{-1}\,S}$	(*mho*)	10^{-9}

Die technophysikalische Größe				
Artikel	**Name**		**Algebraische Bezeichnung**	**Gleichung**
109^g	Spezifische elektrische Leit(ungs)fähigkeit		$\mathfrak{k}_c$	$\tilde{\mathfrak{k}}_c = \frac{1}{\mathfrak{k}_r} = L \frac{l}{S}$
109^h	Relative elektrische Leit(ungs)fähigkeit		$\mathfrak{k}_v$	$\tilde{\mathfrak{k}}_v = \frac{\mathfrak{k}_{c.2}}{\mathfrak{k}_{c.1}}$
109^i	Elektrische Spannung		D	$\tilde{D} = A R$
109^j	Elektrodynamische Kraft		F_e	$\tilde{F}_e = \frac{10^{-1}}{g_P} l A \theta$
109^k	Elektrische Arbeit		W_e	$\tilde{W}_e = D A t$
109^k	Elektrische Energie			
109^l	Elektrische Leistung		P_e	$\tilde{P}_e = \frac{W_e}{t} = D A$
109^l	Elektrischer Effekt			
109^m	Selbstinduktionskoeffizient		$\mathfrak{k}_s$	$\tilde{\mathfrak{k}}_s = E_s : \frac{d A}{d t}$
109^n	Koeffizient der gegenseitigen Induktion		$\mathfrak{k}_m$	$\tilde{\mathfrak{k}}_m = E_m : \frac{d A}{d t}$
109^o	Dynamische Elektrizitätsmenge		Q	$\tilde{Q} = A t$
109^p	Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit		C	$\tilde{C} = \mathfrak{k}_d \frac{Q}{D}$
109^q	Elektrodynamische Dichte		i	$\tilde{i} = \frac{A}{S}$
109^r	Anzahl der Perioden	bei Wechselstromkreisen	m	$\tilde{m} =$ eine Zahl
109^r	Frequenz		f	$\tilde{f} = \frac{m}{t}$
109^r	Dauer der Periode		t_m	$\tilde{t}_m = \frac{t}{m} = \frac{1}{f}$
109^r	Elektromotorische Ursprungskraft		E_i	$\tilde{E}_i = E_{i.max} \, sin \, w \, t$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	**Fundamentale Zusammensetzung**	**Name**	
$10^{-8}(\mathbf{D}^{-2}\,\mathbf{S})$	$\mathbf{D}^{-2}\,\mathbf{S}$	$\frac{1}{\textit{ohm}\cdot\textit{dm}}$	10^{-10}
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1
$\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})$	$\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$	*volt*	10^8
$\mathbf{K}$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^4\,\tilde{g}$
$\frac{100}{g_P}(\mathbf{D}\,\mathbf{K})$	$\mathbf{D}\,\mathbf{K}$	*joule*	10^7
$\frac{100}{g_P}(\mathbf{D}\,\mathbf{K}\,\mathbf{S}^{-1})$	$\mathbf{D}\,\mathbf{K}\,\mathbf{S}^{-1}$	*watt*	10^7
$10^8\left(\frac{\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{(\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S})}\right)$ oder $10^8\,\mathbf{D}$	$\frac{\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{(\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S})}$ oder $\mathbf{D}$	*henry*	10^9
$10^8\left(\frac{\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{(\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S})}\right)$ oder $10^8\,\mathbf{D}$	$\frac{\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}}{(\mathbf{K}^{1/2}:\mathbf{S})}$ oder $\mathbf{D}$	*henry*	10^9
$\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S})$	$\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}$	*coulomb*	10^{-1}
$10^{-8}\frac{\mathbf{S}}{\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}}$	$\frac{\mathbf{S}}{\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1}}$	*farad*	10^{-9}
$\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\,\frac{\mathbf{K}^{1/2}}{\mathbf{D}^2}$	$\mathbf{D}^{-2}\,\mathbf{K}^{1/2}$	*ampère* per *dm*²	10^{-3}
$\mathbf{I}$ oder $\mathbf{I}_m$	$\mathbf{I}$	Periode (Eins)	1
$\mathbf{I}_m\,\mathbf{S}^{-1}$	$\mathbf{I}\,\mathbf{S}^{-1}$	Periode per *sec*	1
$\mathbf{S}$	$\mathbf{S}$	*sec*	1
$\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})$	$\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$	*volt*	10^8

Die technophysikalische Größe				
Artikel	Name		Algebraische Bezeichnung	Gleichung
109^r	Zurückwirkende elektromotorische Kraft oder E. M.-Reaktionskraft	bei Wechselstromkreisen	E_r	$\tilde{E}_r = A_{u.max}\left(\mathfrak{k}_s w - \frac{1}{Cw}\right) \times cos\,(w\,t - \varphi)$
109^r	Elektromotorische Nutzkraft		E_u	$\tilde{E}_u = E_i - E_r$
109^r	Wirklicher Widerstand		R	$\tilde{R} = \frac{E}{A}$
109^r	Scheinbarer Widerstand		R_r	$\tilde{R}_r = k_s w - \frac{1}{Cw}$
109^r	Resultierender Widerstand		R_i	$\tilde{R}_i = \sqrt{R^2 + R_r^2}$
109^r	Stromstärke		A_u	$\tilde{A}_u = \frac{E_u}{R}$
109^r	Phasenverschiebung		φ	$cos\,\tilde{\varphi} = \frac{E_{u.max}}{E_{i.max}} = \frac{R}{R_i}$
109^r	Elektrischer Effekt		$P_{e.eff}$	$\tilde{P}_{e.eff} = D_a\,A_a\,cos\,\varphi$
109^s	Durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge		$\mathfrak{W}_e$	$\tilde{\mathfrak{W}}_e \cong \frac{D\,A\,t}{4198{,}50}$
109^t	Temperaturzunahme in einem elektrischen Leiter		$\mathfrak{T}_e$	$\tilde{\mathfrak{T}}_e \cong \frac{1}{4198{,}50} \times \frac{\mathfrak{k}_r}{k_p\,k_G} \times \left(\frac{A}{S}\right)^2 t$
109^u	Elektrochemische Kraft		F_K	$\tilde{F}_K$
109^u	Elektrochemische	Energie	W_K	$\tilde{W}_K = D\,A\,t$
	und			
109^u	Chemoelektrische			
109^u	Elektrochemisches Äquivalent		kk_a	$\tilde{kk}_a = \frac{G}{Q}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
$\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathrm{D\,K^{1/2}\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,K^{1/2}\,S^{-1}}$	*volt*	10^8
$\frac{10^5}{\sqrt{g_P}}(\mathrm{D\,K^{1/2}\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,K^{1/2}\,S^{-1}}$	*volt*	10^8
$10^8(\mathrm{D\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,S^{-1}}$	*ohm*	10^9
$10^8(\mathrm{D\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,S^{-1}}$	*ohm*	10^9
$10^8(\mathrm{D\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,S^{-1}}$	*ohm*	10^9
$\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\mathrm{K^{1/2}}$	$\mathrm{K^{1/2}}$	*ampère*	10^{-1}
I	I	Eins	1
$\frac{100}{g_P}(\mathrm{D\,K\,S^{-1}})$	$\mathrm{D\,K\,S^{-1}}$	*watt*	10^7
$4280(\mathrm{D\,K})$	$\mathrm{D\,K}$	*cal*	$4{,}28\times10^8\tilde{g}$
$\frac{4280(\mathrm{D\,K})}{\mathrm{K}}$	$\frac{\mathrm{D\,K}}{\mathrm{K}}$	*celsius (cels)*	$4{,}28\times10^5\tilde{g}$
K	K	*kg*	$10^4\tilde{g}$
$\frac{100}{g_P}(\mathrm{D\,K})$	$\mathrm{D\,K}$	*joule*	10^7
$\frac{\mathrm{K}}{\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}(\mathrm{K^{1/2}\,S})}$	$\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{K^{1/2}\,S}}$	*kg* per *coulomb*	10^4

Die technophysikalische Größe			
Artikel	**Name**	**Algebraische Bezeichnung**	**Gleichung**
			Elektromagnetische
110^a	Magnetismusstärke	Φ	$\tilde{\Phi} = 10^{-5} k_\mu A l_1$ $\tilde{\Phi} = \frac{4\pi}{10^5} k_\mu \frac{A\mathfrak{N}}{l} S$
110^b	Magnetische Dichte	θ	$\tilde{\theta} = \frac{\Phi}{S}$
110^c	Windungszahl	$\mathfrak{N}$	$\tilde{\mathfrak{N}} =$ eine Zahl
110^c	Elektrische Magnetisierung	$A\mathfrak{N}$	$\widetilde{A\mathfrak{N}} = \frac{10^5}{4\pi} \frac{\theta l}{k_\mu}$
110^d	Spezifische elektrische Magnetisierung	$\mathfrak{K}$	$\tilde{\mathfrak{K}} = \frac{A\mathfrak{N}}{l}$
110^e	Spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit	k_μ	$\tilde{k}_\mu = \frac{10^5}{4\pi} \frac{\theta}{\mathfrak{K}}$
	Koeffizient der magnetischen Streuung	k_ψ	$\tilde{k}_\psi = \frac{\Phi_m}{\Phi_a}$

Die Maßeinheit			Verhältnis der D. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Dimension	Fundamentale Zusammensetzung	Name	
Größen:			
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D\,K^{1/2}}$	D. K. S.-Einheit der Magnetismusstärke	10^5
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D\,K^{1/2}}$		
$\frac{100}{\sqrt{g_P}}(\mathbf{D^{-1}\,K^{1/2}})$	$\mathbf{D^{-1}\,K^{1/2}}$	D. K. S.-Einheit der magnetischen Dichte	10^3
$\mathbf{I}$ oder $\mathbf{I}_{\mathfrak{R}}$	$\mathbf{I}$	Windung (Eins)	1
$\left(\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\mathbf{K^{1/2}}\right)\mathbf{I}_{\mathfrak{R}}$	$\mathbf{K^{1/2}\,I}$	Ampère · Windung	10^{-1}
$\dfrac{\left(\frac{10^{-3}}{\sqrt{g_P}}\mathbf{K^{1/2}}\right)\mathbf{I}_{\mathfrak{R}}}{\mathbf{D}}$	$\dfrac{\mathbf{K^{1/2}\,I}}{\mathbf{D}}$	Ampère · Windung per *dm*	10^{-2}
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1
$\mathbf{I}$	$\mathbf{I}$	Eins	1

B. Technophysikalisches Maßsystem, zurückgeführt auf Centimeter-Kilogramm-Sekunde als Grundmaße.

112. Bezeichnungen und Erkennungszeichen des C. K. S.-Systems, wenn es gleichzeitig mit einem anderen Maßsystem vorkommt.

Die algebraischen Bezeichnungen der physikalischen Größen sollen natürlich stets dieselben bleiben, d. h. sie sollen von den Maßsystemen unabhängig sein. Es versteht sich von selbst, daß man in Wirklichkeit neben dem philosophischen Maßsystem nur ein einziges technisches braucht; nur des Beispiels und des Vergleichs halber führen wir zwei technische Maßsysteme vollständig auf. In Wirklichkeit braucht man also bloß zwei Arten von Erkennungszeichen. Nur weil wir in demselben Buche zwei technische Maßsysteme aufführen, wollen wir bei den algebraischen Bezeichnungen und Formeln des **C. K. S.**-Systems ein besonderes Erkennungszeichen benutzen und zwar in Form eines geraden Striches unterhalb des Bezeichnungsbuchstaben, $\underline{a}$, $\underline{b}$, $\underline{F}$, $\underline{\mathfrak{S}}$, $\underline{\vartheta}$, u. s. w. Zur Darstellung der Einheitsdimensionen des **C. K. S.**-Systems werden die Buchstaben **C**, **K** und **S** benutzt.

113. Geometrische Größen und ihre Maßeinheiten.

Diese Größen werden in Übereinstimmung mit den **C. G. S.**- und **D. K. S.**-Systemen definiert; man braucht nur zu berücksichtigen, daß man für die Länge ein anderes Grundmaß, das Centimeter, hat. Die Einheitsdimensionen des **C. K. S.**-Systems und das Größenverhältnis der **C. K. S.**-Einheiten zu den **C. G. S.**-Einheiten sind aus Tabelle VII zu ersehen.

114. Mechanische Größen und ihre Maßeinheiten.

Das in Artikel 104 Gesagte findet auch auf das **C. K. S.**-System Anwendung, und, da die Einheitsdimensionen u. s. w. in Tabelle VII aufgenommen sind, dürfte eine weitere Beschreibung an dieser Stelle überflüssig sein.

115. Kalorische Größen und ihre Maßeinheiten.

Die in den Artikeln 38—48 gegebenen Definitionen lassen sich auch auf das **C. K. S.**-System anwenden, und im übrigen wird auf Tabelle VII verwiesen.

116. Optische Größen und ihre Maßeinheiten.

Es gilt das in den Artikeln 49—53 Angeführte auch hier.

117. Elektrostatische Größen und ihre Maßeinheiten.

Was diese Größen anbetrifft, verweisen wir auf das in Artikel 107 Gesagte, das sich auch hier anwenden läßt.

118. Magnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

Wie im **D. K. S.**-System, gehen wir von der **C. G. S.**-Formel der magnetischen Tragkraft

$$\mathring{\mathfrak{K}}_1 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi}\, \boldsymbol{\theta}^2 S \; dyn$$

aus. Außerdem nehmen wir an, daß die **C. K. S.**-Einheit der Magnetismusstärke mit 10^5 entsprechenden **C. G. S.**-Einheiten physikalisch gleichwertig sein soll. Formt man die **D. K. S.**-Gleichung

$$\tilde{\boldsymbol{\Phi}} = \frac{\sqrt{2 \times 4\pi\, g_P}}{100} \sqrt{\mathbf{B} S} \quad \textbf{D. K. S.}\text{-Einheiten}.$$

in eine **C. K. S.**-Gleichung um, so erhält man

$$\underline{\boldsymbol{\Phi}} = \frac{\sqrt{2 \times 4\pi\, g_P}}{1000\sqrt{10}} \sqrt{\mathbf{B} S} \quad \textbf{C. K. S.}\text{-Einheiten}$$

als Bestimmungsgleichung der Magnetismusstärke. Als Dimension der **D. K. S.**-Einheit der Magnetismusstärke hat man (vgl. Art. 108^c) den Ausdruck $\frac{100}{\sqrt{\tilde{g}_P}}$ ($\mathbf{D\,K}^{1/2}$), und aus der letzten Gleichung findet man $10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}$ ($\mathbf{C\,K}^{1/2}$) als Dimensionsausdruck der entsprechenden **C. K. S.**-Einheit. Diese beiden Dimensionsausdrücke stellen zwei einander physikalisch gleichwertige Einheiten dar, d. h. jede davon ist 10^5 mal größer als die entsprechende **C. G. S.**-Einheit, welche durch den Dimensionsausdruck $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$ dargestellt wird und den Namen *maxwell* trägt.

Als Bestimmungsgleichung der magnetischen Polstärke kann man geeignet auch die Gleichung

$$\underline{\mathfrak{M}} = \frac{\sqrt{2 \times 4\pi g_P}}{1000\sqrt{10}}\sqrt{\mathfrak{B}\,S} \quad \text{C. K. S.-Einheiten}$$

wählen.

Für spezifische Magnetismusstärke oder magnetische Dichte hat man:

im **C. G. S.**-System $\mathring{\theta} = \Phi : S$ und die Einheitsdimension $\mathbf{C}^{-1/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}$,

„ **D. K. S.**- „ $\tilde{\theta} = \Phi : S$ „ „ „ $\frac{100}{\sqrt{\tilde{g}_P}}\,(\mathbf{D}^{-1}\,\mathbf{K}^{1/2})$,

„ **C. K. S.**- „ $\underline{\theta} = \Phi : S$ „ „ „ $10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}\,(\mathbf{C}^{-1}\,\mathbf{K}^{1/2})$.

Hieraus geht hervor, daß die **D. K. S.**- und **C. K. S.**-Einheiten der magnetischen Dichte einander nicht physikalisch gleichwertig sind, sondern diese ist 100 mal größer als jene. Es ist sonach die **D. K. S.**-Einheit 10^3mal und die **C. K. S.**-Einheit 10^5mal größer als die **C. G. S.**-Einheit.

Im übrigen verweisen wir auf Artikel 108 und auf Tabelle VII.

119. Elektrodynamische Größen und ihre Maßeinheiten.

Das in Artikel 109 Gesagte gilt auch hier. Der in Artikel 108 hinsichtlich der Gleichung der elektromotorischen Kraft erwähnte Koeffizient $\mathfrak{k}_a$ erhält im **C. K. S.**-System den gleichen numerischen Wert wie im **D. K. S.**-System. Es ist also $\tilde{\mathfrak{k}}_a = \underline{\mathfrak{k}}_a = 10^{-3}$, und man hat sohin für die elektromotorische Kraft:

im **C. G. S.**-System $\mathring{E} = l\,v\,\theta = \frac{\Phi}{t}$ **C. G. S.**-Einheiten,

„ **D. K. S.**- „ $\tilde{E} = 10^{-3}\,l\,v\,\theta = 10^{-3}\frac{\Phi}{t}$ *volt* , im **C. K. S.**- „ $\underline{E} = 10^{-3}\, l\, v\, \theta = 10^{-3} \frac{\Phi}{t}$ *volt* .

Die respektiven Einheitsdimensionen sind $\mathbf{C}^{3/2}\,\mathbf{G}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-2} = 10^{-8}$ *volt*,

$$\frac{10^5}{\sqrt{\tilde{g}_P}} (\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}) = 1\, volt \text{ und } 10^6 \sqrt{\frac{10}{\underline{g}_P}} (\mathbf{C}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}) = 1\, volt .$$

Es sei übrigens auf Artikel 109 und Tabelle VII verwiesen.

120. Elektromagnetische Größen und ihre Maßeinheiten.

Da das in Artikel 110 Gesagte auch hier zutrifft, weisen wir darauf, sowie auf Tabelle VII hin.

Die Berechnung von magnetischen Kreisen erfolgt in derselben Weise, wie in den Artikeln 97 und 110^f angegeben wurde.

Man hat für die Magnetismusstärke (vgl. Fig. 38)

$$\underline{\Phi} = \frac{4\pi}{10^6}\, A\mathfrak{N} \left(k_{\mu.1} \frac{S_1}{l_1} + k_{\mu.2} \frac{S_2}{l_2} + k_{\mu.3} \frac{S_3}{l_3} + k_{\mu.4} \frac{S_4}{l_4} \right)$$

C. K. S.-Einheiten und für die elektrische Magnetisierung

$$\underline{A\mathfrak{N}} = \frac{10^6}{4\pi} \left(\frac{\theta_1 l_1}{k_{\mu.1}} + \frac{\theta_2 l_2}{k_{\mu.2}} + \frac{\theta_3 l_3}{k_{\mu.3}} + \frac{\theta_4 l_4}{k_{\mu.4}} \right) \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen}$$

oder allgemein

$$\underline{A\mathfrak{N}} = f(\theta_1)\, l_1 + f(\theta_2)\, l_2 + f(\theta_3)\, l_3 + f(\theta_4)\, l_4 \text{ Ampère} \cdot \text{Windungen.}$$

Die in Figur 35 aufgezeichneten Magnetisierungskurven können für das **C. K. S.**-System benutzt werden, wenn die Ordinatenwerte (θ) durch 10^5 dividiert werden. Die Abscissenwerte ($\mathfrak{K}$) der Kurven stellen Ampère • Windungen : Centimeter dar und können somit für das **C. K. S.**-System unmittelbar benutzt werden.

Tabelle VII.

121. Tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen Größen und der Dimensionsausdrücke der Maßeinheiten in Bezug auf das C. K. S.-Maßsystem.

Die Bestimmungsgleichungen der Größen sind nur dann angegeben, wenn sie von den **D. K. S.**-Gleichungen abweichen.

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
			Geometrische Größen:			
113	Länge	l		C	Centimeter (*cm*)	1
113	Breite	b		C	*cm*	1
113	Höhe, Dicke, Tiefe	h		C	*cm*	1
113	Fläche	S		C^2	Quadratcentim. (cm^2)	1
113	Volumen	V		C^3	Kubikcentimeter (cm^3)	1
113	Kreishalbmesser	r		C	*cm*	1
113	Kreisdurchmesser	d		C	*cm*	1
113	Kreisumfang	o		C	*cm*	1
113	Kreisbogen	s		C	*cm*	1
113	Ebener Winkel:					
113	**a.** in Bogenmaß	α		I oder I_α	Eins	1
113	**b.** in Gradmaß	β, γ, δ		I oder I_β, I_γ, I_δ	Eins	1
113	Räumlicher Winkel	σ		I oder I_σ	Eins	1

Mechanische Größen:

114	Zeit	t		S	Sekunde (*sec*)	1
114	Geschwindigkeit	v		$C\,S^{-1}$	*cm* per *sec*	1
114	Rotationsgeschwindigkeit:					
	a. Umdrehungszahl	m_x		I oder I_{mx}	Eins	1
114	a. Umdrehungen per Zeiteinheit	n		$I_{mx}\,S^{-1}$	Umdrehung per *sec*	1
114	b. Winkelgeschwindigkeit	w		$I_\alpha\,S^{-1}$	Radiant per *sec*	1
114	Beschleunigung bezw. Verzögerung im allgemeinen	a		$C\,S^{-2}$	*cm* per *sec*^{2}	1
114	Winkelbeschleunigung	a_w		$I_\alpha\,S^{-2}$	Radiant per *sec*^{2}	1
114	Fallbeschleunigung	g	$g_P = 980{,}96$	$C\,S^{-2}$	*cm* per *sec*^{2}	1
114	Gewicht	G		K	Kilogramm (*kg*)	10^3
114	Spezifisches Gewicht	k_G		$C^{-3}\,K$	*kg* per *cm*^{3}	10^3
114	Relatives Gewicht	k_g		I	Eins	1
114	Spezifisches Volumen	k_V		$C^3\,K^{-1}$	*cm*^{3} per *kg*	10^{-3}
114	Masse	M		K	*kg*	10^3
114	Spezifische Masse	k_M		$C^{-3}\,K$	*kg* per *cm*^{3}	10^3
114	Relative Dichte	k_m		I	Eins	1
114	Schwere	U		K	*kg*	$10^3\,\mathbf{g}$
114	Schwerkraft	U_F		K	*kg*	$10^3\,\mathbf{g}$
114	Mechanische Kraft	F_m		K	*kg*	$10^3\,\mathbf{g}$

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
114	Mechanische Arbeit	W_m		$\mathrm{C\,K}$	*kg* · *cm*	$10^3\underline{g}$
114	Mechanische Leistung	P_m		$\mathrm{C\,K\,S^{-1}}$	*kg* · *cm* : *sec*	$10^3\underline{g}$
114	Mechanische Energie:	K				
114	a. potentielle	K_p		$\mathrm{C\,K}$	*kg* · *cm*	$10^3\underline{g}$
114	b. kinetische	K_k		$\mathrm{C\,K}$	*kg* · *cm*	$10^3\underline{g}$
114	Massenmoment	O		$\mathrm{K}\,(\perp \mathrm{C}^2)$	*kg* ⊥ *cm*	10^3
114	Antrieb der Kraft	I		$\mathrm{K\,S}$	*kg* · *sec*	$10^3\underline{g}$
114	Bewegungsgröße	B		$\mathrm{K\,S}$	*kg* · *sec*	$10^3\underline{g}$
114	Druck, Zug, Spannung	D_x		K	*kg*	$10^3\underline{g}$
114	Spezifischer Druck	k_{Dx}		$\mathrm{C^{-2}\,K}$	*kg* per *cm*²	$10^3\underline{g}$
114	Kraftmoment:	H				
114	a. biegendes	H_b		$\mathrm{C} \perp \mathrm{K}$	*kg* ⊥ *cm*	$10^3\underline{g}$
114	b. drehendes	H_d		$\mathrm{C} \perp \mathrm{K}$	*kg* ⊥ *cm*	$10^3\underline{g}$
114	Spezifische Elastizität	k_e		$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{C^{-2}\,K}}$	Eins per (*kg* per *cm*²)	$\frac{10^{-3}}{\underline{g}}$
114	Spezifische Inelastizität	k_i		$\frac{\mathrm{C^{-2}\,K}}{\mathrm{I}}$	(*kg* per *cm*²) per Eins	$10^3\underline{g}$
114	Festigkeitskoeffizienten:					
114	a. Bruchkoeffizient	k_b		$\mathrm{C^{-2}\,K}$	*kg* per *cm*²	$10^3\underline{g}$

114	b. Tragfähigkeitskoeffizient	k_t		$C^{-2}K$	*kg* per *cm*^{2}	$10^3\underline{g}$
114	c. Formbeständigkeitskoeffizient	k_f		$C^{-2}K$	*kg* per *cm*^{2}	$10^3\underline{g}$
114	Querschnittsmoment:	J				
114	a. äquatoriales	J_e		$C^2(\perp C^2)$	$cm^2 \perp cm^2$	1
114	b. polares	J_p		$C^2(\perp C^2)$	$cm^2 \perp cm^2$	1
114	Widerstandsmoment der Querschnitte:	T				
114	a. gegen Biegung	T_b		$C \perp K$	$kg \perp cm$	$10^3\underline{g}$
114	b. gegen Drehung	T_d		$C \perp K$	$kg \perp cm$	$10^3\underline{g}$
114	Gravitationskraft	U_x		K	*kg*	$10^3\underline{g}$
114	Gravitationskoeffizient	k_{Ux}		$\frac{CK}{K} \cdot \frac{C}{K}$	C. K. S.-Einheit des Gravit.-koeff.	$10^{-3}\underline{g}$
114	Mechanisches Potential	V_x		$\frac{CK}{K}$	$kg \cdot cm$ per *kg*	$\underline{g}$
114	Mechanische Potentialdifferenz	$V_{x.d}$		$\frac{CK}{K}$	$kg \cdot cm$ per *kg*	$\underline{g}$

Kalorische Größen:

115	Kalorische Kraft	$\mathfrak{F}$		K	*kg*	$10^3\underline{g}$
115	Wärmemenge	$\mathfrak{W}$	$\underline{\mathfrak{W}} = \frac{W_m}{42800}$	$42800\,(C\,K)$	Kalorie (*cal*)	$4{,}28 \times 10^7\underline{g}$
115	Kalorische Energie					
115	Kalorischer Effekt	$\mathfrak{P}$		$42800\,(C\,K\,S^{-1})$	*cal* per *sec*	$4{,}28 \times 10^7\underline{g}$

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
115	Temperatur	$\mathfrak{T}$		$\frac{42800\,(C\,K)}{K}$ oder $42800\,C$	*Celsius*-Grad (*cels*), *cal* per *kg* oder *cm*	$4{,}28 \times 10^4 \mathfrak{g}$
115	Spezifische Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	k_p		$\frac{42800\,(C\,K)}{K \cdot 42800}$	*cal* per (*kg* · *cels*)	1
115	Relative Wärmeaufnahme per Gewichtseinheit	k_r		I	Eins	1
115	Spezifische Wärmeaufnahme per Volumeneinheit	k_v		$\frac{42800\,(C\,K)}{C^3 \cdot 42800\,C}$	*cal* per (*cm*³ · *cels*)	10^3
115	Wärmeleit(ungs)-koeffizient	k_c		$\frac{42800\,(C\,K\,S^{-1})}{C \cdot 42800\,C}$	(*cal*: *sec*) per (*cm* · *cels*)	10^3
115	Wärmestrahlungs-koeffizient	k_s		$\frac{42800\,(C\,K\,S^{-1})}{C^2 \cdot 42800\,C}$	(*cal*: *sec*) per (*cm*² · *cels*)	10^3
115	Ausdehnungskoeffizient (linearer)	k_b		$\frac{I}{42800\,C}$	Eins per *cels*	$\frac{1}{4{,}28 \times 10^4 \mathfrak{g}}$
115	Spezifische Schmelzwärme	k_f		$\frac{42800\,(C\,K)}{K}$	*cal* per *kg*	$4{,}28 \times 10^4 \mathfrak{g}$

115	Spezifische Verdampfungswärme	$k_{\mathfrak{g}}$		$\dfrac{42800\,(\mathrm{C\,K})}{\mathrm{K}}$	*cal* per *kg*	$4{,}28\times10^4\,\underline{g}$
115	Spezifische Verbrennungswärme	$k_{\mathfrak{h}}$		$\dfrac{42800\,(\mathrm{C\,K})}{\mathrm{K}}$	*cal* per *kg*	$4{,}28\times10^4\,\underline{g}$

Optische Größen:

116	Optische Kraft	$\mathfrak{F}_x$		K	K	$10^3\,\underline{g}$
116	Lichtstärke					
116	Spezifischer optischer Effekt	$\mathfrak{J}$		$k_m\,(\mathrm{C\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{C^{-2}}$	$k_m\,(kg\cdot cm{:}sec)$ per cm^2	—
116	Optischer Effekt	$\mathfrak{P}_x$		$\mathrm{C\,K\,S^{-1}}$	$kg\cdot cm : sec$	$10^3\,\underline{g}$
116	Optische Energie	$\mathfrak{W}_x$		C K	$kg\cdot cm$	$10^3\,\underline{g}$
116	Lichtstrom	$\mathfrak{S}$		$k_m\,(\mathrm{C\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{C^{-2}}$	$k_m\,(kg\cdot cm{:}sec)$ per cm^2	—
116	Beleuchtungsstärke	$\mathfrak{B}$		$k_m\left[(\mathrm{C\,K\,S^{-1}})\,\mathrm{C^{-2}}\right]\mathrm{C^{-2}}$	$k_m\,(kg\cdot cm : sec)$ per cm^2 per cm^2	—
116	Spezifische Lichtmenge	$\mathfrak{M}$		$k_m\,(\mathrm{C\,K})\,\mathrm{C^{-2}}$	$k_m\,(kg\cdot cm)$ per cm^2	—
116	Belichtung	$\mathfrak{E}$		$k_m\left[(\mathrm{C\,K})\,\mathrm{C^{-2}}\right]\mathrm{C^{-2}}$	$k_m\,(kg\cdot cm)$ per cm^2 per cm^2	—

Magnetische Größen:

118	Magnetische Kraft	**Б**		K	*kg*	$10^3\,\underline{g}$
118	Magnetische Energie	**Э**		C K	$kg\cdot cm$	$10^3\,\underline{g}$
118	Magnetischer Effekt	**Щ**		$\mathrm{C\,K\,S^{-1}}$	$kg\cdot cm : sec$	$10^3\,\underline{g}$

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
118	Magnetische Polstärke	Ш	$\underline{\text{Ш}} = \frac{\sqrt{2\times 4\pi g_P}}{1000\sqrt{10}}\sqrt{\text{Б}\,S}$	$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(\mathrm{C\,K}^{1/2})$	C. K. S.-Einheitspol	—
118	Magnetismusstärke	$\mathbf{\Phi}$	$\underline{\mathbf{\Phi}} = \frac{\sqrt{2\times 4\pi g_P}}{1000\sqrt{10}}\sqrt{\text{Б}\,S}$	$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(\mathrm{C\,K}^{1/2})$	C. K. S.-Einheit der Magnetismusstärke	10^5
118	Magnetische Dichte	$\mathbf{\Theta}$	$\left\{\begin{array}{l}\underline{\mathbf{\Theta}} = \frac{\mathbf{\Phi}}{S}\\ \underline{\mathbf{\Theta}} = \frac{\sqrt{2\times 4\pi g_P}}{1000\sqrt{10}}\sqrt{\frac{\text{Б}}{S}}\end{array}\right.$	$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(\mathrm{C}^{-1}\,\mathrm{K}^{1/2})$	C. K. S.-Einheit der Dichte	10^5
118	Magnetische Tragkraft:	Ю				
118	a. eine Trennungsstelle	Ю_1	$\underline{\text{Ю}}_1 = \frac{1}{2}\times\frac{10^7}{4\pi g_P}\mathbf{\Theta}^2 S$	K	*kg*	$10^3\underline{g}$
118	b. zwei Trennungsstellen	Ю_2	$\underline{\text{Ю}}_2 = \frac{10^7}{4\pi g_P}\mathbf{\Theta}^2 S$	K	*kg*	$10^3\underline{g}$

Elektrodynamische Größen:

119	Elektromotorische Kraft	E	$\underline{E} = 10^{-3}\,l\,v\,\mathbf{\Theta}$	$10^6\sqrt{\frac{10}{g_P}}\,\mathrm{C\,K}^{1/2}\,\mathrm{S}^{-1}$	*volt*	10^8

119	Elektrische Stromstärke	A	$\underline{A} = \frac{g_P}{10^4} \frac{F_m v}{E}$	$10^{-3} \sqrt{\frac{10}{g_P}}\, \mathbf{K}^{1/2}$	*ampère*	10^{-1}
119	Elektrischer Leitungswiderstand	R		$10^9 (\mathbf{C\,S}^{-1})$	*ohm*	10^9
119	Spezifischer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{f}_r$		$10^9 (\mathbf{C}^2 \mathbf{S}^{-1})$	*ohm · cm*	10^9
119	Relativer elektrischer Leitungswiderstand	$\mathfrak{f}_u$		$\mathbf{I}$	Eins	1
119	Elektrische Leit(ungs)fähigkeit	L		$10^{-9} (\mathbf{C}^{-1} \mathbf{S})$	(*mho*)	10^{-9}
119	Spezifische elektrische Leit(ungs)fähigkeit	$\mathfrak{f}_c$		$10^{-9} (\mathbf{C}^{-2} \mathbf{S})$	$\frac{1}{ohm \cdot cm}$	10^{-9}
119	Relative elektrische Leit(ungs)fähigkeit	$\mathfrak{f}_v$		$\mathbf{I}$	Eins	1
119	Elektrische Spannung	D		$10^6 \sqrt{\frac{10}{g_P}} (\mathbf{C\,K}^{1/2} \mathbf{S}^{-1})$	*volt*	10^8
119	Elektrodynamische Kraft	F_e	$\underline{F}_e = \frac{10}{g_P} l A \theta$	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^3 \underline{g}$
119	Elektrische Arbeit	W_e		$\frac{10^4}{g_P} (\mathbf{C\,K})$	*joule*	10^7
119	Elektrische Energie					
119	Elektrische Leistung	P_e		$\frac{10^4}{g_P} (\mathbf{C\,K\,S}^{-1})$	*watt*	10^7
119	Elektrischer Effekt					

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
119	Selbstinduktionskoeffizient	$\mathfrak{L}_s$		$10^9\left(\frac{C K^{1/2} S^{-1}}{(K^{1/2} : S)}\right)$	*henry*	10^9
119	Koeffizient der gegenseitigen Induktion	$\mathfrak{L}_m$		$10^9\left(\frac{C K^{1/2} S^{-1}}{(K^{1/2} : S)}\right)$	*henry*	10^9
119	Dynamische Elektrizitätsmenge	Q		$10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}}(K^{1/2} S)$	*coulomb*	10^{-1}
119	Elektrodynamische Aufnahmefähigkeit	C		$10^{-9}\left(\frac{S}{C S^{-1}}\right)$	*farad*	10^{-9}
119	Elektrodynamische Dichte	i		$10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}\frac{K^{1/2}}{C^2}}$	*ampère* per *cm²*	10^{-1}
119	Anzahl der Perioden bei Wechselstromkreisen	m		I oder I_m	Eins	1
119	Frequenz	f		$I_m S^{-1}$	Periode per *sec*	1
119	Dauer der Periode	t_m		S	*sec*	1
119	Elektromotorische Ursprungskraft	E_i		$10^6\sqrt{\frac{10}{g_P}}(C K^{1/2} S^{-1})$	*volt*	10^8
119	Elektromotorische Reaktionskraft	E_r		$10^6\sqrt{\frac{10}{g_r}}(C K^{1/2} S^{-1})$	*volt*	10^8

119	Elektromotorische Nutzkraft	bei Wechselstromkreisen.	E_u	$10^6\sqrt{\frac{10}{g_P}}(\mathbf{C}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})$	*volt*	10^8
119	Wirklicher Widerstand		R	$10^9\,(\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1})$	*ohm*	10^9
119	Scheinbarer Widerstand		R_r	$10^9\,(\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1})$	*ohm*	10^9
119	Resultierender Widerstand		R_i	$10^9\,(\mathbf{C}\,\mathbf{S}^{-1})$	*ohm*	10^9
119	Stromstärke		A_u	$10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}}\,\mathbf{K}^{1/2}$	*ampère*	10^{-1}
119	Phasenverschiebung		φ	I	Eins	1
119	Elektrischer Effekt		$P_{e.eff}$	$\frac{10^4}{g_P}(\mathbf{C}\,\mathbf{K}\,\mathbf{S}^{-1})$	*watt*	10^7
119	Durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge		$\mathfrak{W}_e$	$42800\,(\mathbf{C}\,\mathbf{K})$	Kalorie	$4{,}28\times10^7\underline{g}$
119	Temperaturzunahme in einem elektrischen Leiter		$\mathfrak{T}_e$	$\frac{42800\,(\mathbf{C}\,\mathbf{K})}{\mathbf{K}}$	*cels*	$4{,}28\times10^4\underline{g}$
119	Elektrochemische Kraft		F_K	$\mathbf{K}$	*kg*	$10^3\underline{g}$
119	Elektrochemische und chemoelektrische Energie		W_K	$\frac{10^4}{g_P}(\mathbf{C}\,\mathbf{K})$	*joule*	10^7
119	Elektrochemisches Äquivalent		kk_a	$\mathbf{K}:\left(10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}\right)$	*kg* per *coulomb*	10^4

Die technophysikalische Größe				Die Maßeinheit		Verhältnis der C. K. S.-Einheit zur C. G. S.-Einheit
Artikel	Name	Algebr. Bezeichnung	Gleichung	Dimension	Name	
Elektromagnetische Größen:						
120	Magnetismusstärke	Φ	$\underline{\Phi} = 10^{-6} k_\mu A l_1$	$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(C K^{1/2})$	C. K. S.-Einheit der Magnetismusstärke	10^5
			$\underline{\Phi} = \frac{4\pi}{10^6} k_\mu \frac{A\mathfrak{N}}{l} s$	$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(C K^{1/2})$	C. K. S.-Einheit der Magnetismusstärke	10^5
120	Magnetische Dichte	Θ		$10^3\sqrt{\frac{10}{g_P}}(C^{-1} K^{1/2})$	C. K. S.-Einheit der magnetischen Dichte	10^5
120	Windungszahl	$\mathfrak{N}$		I oder $I_{\mathfrak{N}}$	Eins	1
120	Elektrische Magnetisierung	$A\mathfrak{N}$	$\underline{A\mathfrak{N}} = \frac{10^6\,\Theta\, l}{4\pi\, k_\mu}$	$10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}}K^{1/2}\cdot I_{\mathfrak{N}}$	Ampère · Windung	10^{-1}
120	Spezifische elektrische Magnetisierung	$\mathfrak{R}$		$10^{-3}\sqrt{\frac{10}{g_P}\frac{K^{1/2}}{C}}\cdot I_{\mathfrak{N}}$	Ampère · Windung per *cm*	10^{-1}
120	Spezifische magnetische Aufnahmefähigkeit	k_μ	$\underline{k_\mu} = \frac{10^6\,\Theta}{4\pi\,\mathfrak{R}}$	I	Eins	1
120	Koeffizient der magnetischen Streuung	k_ψ		I	Eins	1

C. Vergleich physikalischer Maßsysteme.

122. Vergleich zwischen den angeführten D. K. S.- und C. K. S.-Maßsystemen.

Wenn man die in den Tabellen VI und VII enthaltenen Maßeinheiten miteinander vergleicht, findet man bald, daß jedes der beiden Maßsysteme seine Vor- und Nachteile besitzt. Da die *zwei* Grundmaße des **C. K. S.**-Systems, das Centimeter und die Sekunde, auch Grundmaße im **C. G. S.**-System sind, so ist es natürlich, daß das Größenverhältnis zwischen den **C. K. S.**- und **C. G. S.**-Einheiten einfacher und häufiger gleich 1 wird als das Verhältnis zwischen den Einheiten der **D. K. S.**- und **C. G. S.**-Systeme, welche nur *ein* gemeinsames Grundmaß, die Sekunde, haben. Infolge der größeren Dimensionen der anderen beiden Grundmaße des **D. K. S.**-Systems kommen aber die Einheiten dieses Systems den Einheiten der gegenwärtigen Technik und Praxis näher, als es die Einheiten des **C. K. S.**-Systems tun. Inbetreff der Vor- und Nachteile des Decimeters gegenüber denen des Centimeters als Grundmaß der Länge in einem technophysikalischen Maßsystem vergesse man nicht, daß man in der jetzigen Technik Meter, Decimeter, Centimeter und Millimeter durcheinander anwendet, wenn auch Meter und Centimeter hier und da etwas häufiger vorkommen als Decimeter und Millimeter. Will man aber unter den genannten Längenmaßen des metrischen Systems ein Grundmaß der Länge für ein technisches Maßsystem auswählen, so scheint das Decimeter am geeignetsten zu sein, da es sich unzweifelhaft für eine weit größere Anzahl technischer Berechnungen einheitlich und übersichtlich anwenden läßt als die anderen drei Maße. Da außerdem das Kilogramm und die Sekunde für technische Zwecke recht vorteilhaft sind, so dürfte wohl für die technische Wissenschaft ein **D. K. S.**-System das geeignetere sein. Es ist bei der Wahl eines technischen Maßsystems natürlich die Hauptsache, den praktischen Bedürfnissen so weit wie irgend möglich Rechnung zu tragen. Sollte dadurch das Größenverhältnis der technischen Einheiten zu den **C. G. S.**-Einheiten in seiner Einfachheit etwas beeinträchtigt werden, so ist das von geringer Bedeutung, denn ein Vergleich zwischen den technischen und philosophischen Einheiten kommt verhältnismäßig selten vor.

123. Vergleich zwischen verschiedenen denkbaren physikalischen Maßsystemen.

Zu den im vorhergehenden geschilderten physikalischen Maßsystemen kann man natürlich verschiedene andere, in technischer Hinsicht mehr oder weniger mögliche hinzufügen. Als Beispiele und zum Vergleich haben wir in Tabelle VIII eine Reihe von Maßeinheiten aus verschiedenen Maßsystemen zusammengestellt, und zwar Maßeinheiten einiger häufig vorkommenden physikalischen Größen. Der Einfachheit halber wurden die Einheiten der verschiedenen Systeme mit denen des **C. G. S.**-Systems unmittelbar verglichen, indem die Dimension von g nach dem Grundsatze des philosophischen **C. G. S.**-Systems in die Dimensionsausdrücke der betreffenden Einheiten eingeführt wurde.

Wenn es für einige technische Berechnungen nicht etwas unbequem wäre, mit einer größeren Gewichtseinheit als 1 Kilogramm zu rechnen, würde bei der Wahl eines technischen Maßsystems ein System, das entweder 100 Kilogramm, oder auch 1 Tonne ($= 1000\ kg$) für das eine Grundmaß hat, während das Decimeter und die Sekunde die anderen beiden Grundmaße bilden, verdienen, mit in Betracht gezogen zu werden. Besonders bei einem **D. T. S.**-System würde man viele für den praktischen Gebrauch sehr geeignete Maßeinheiten erhalten; man würde aber dennoch der Anwendung von Zifferfaktoren in mehreren Dimensionsausdrücken der Einheiten nicht entgehen können, zumal da man bei der Bestimmung der kommerziellen oder sogen. praktischen elektrischen Einheiten (Volt, Ampère, Joule, Watt u. s. w.) nicht ein einfaches Verhältnis zu den in der Technik allgemein benutzten mechanischen Einheiten angestrebt hat (Vgl. z. B. die Einheiten der elektrischen und mechanischen Energie!), sondern sich vielmehr bemüht hat, ein einfaches Verhältnis zu den philosophischen Einheiten zu erlangen. Ein solcher Vorgang erscheint deshalb etwas eigentümlich, weil man die kommerziellen Einheiten aus den philosophischen nicht unmittelbar ableiten und feststellen konnte, sondern dieselben durch rein praktische Verfahren darstellen mußte.

In den Ländern, wo man noch nicht gesetzliche kommerzielle elektrische Maßeinheiten hat, würde man vielleicht am besten tun, die Sache in reifliche Überlegung zu ziehen und sich völlig klar zu machen, ob es nicht doch besser wäre, die fraglichen Einheiten

. VIII

er der

10

Dimen

D
V
S

D^3

$D V$

$D^2 V$

$D^2 V$

$D^{-1} V$

$D^2 V$

$D^{3/2} V^1$

$D^{-1} V^1$

$D^{3/2} V^1$

$D^{1/2} V^1$

$D^2 V$

$D^{-3/2} V$

so zu dimensionieren und vorzuschreiben, daß sie in ein geeignetes und einfaches Größenverhältnis zu den technischen mechanischen Einheiten zu stehen kämen. Dies würde man erreichen, falls man die Einheit der elektrischen Leistung (des elektrischen Effekts) entweder mit der Einheit der mechanischen Leistung physikalisch gleichwertig machte, oder auch zu dieser Einheit in ein dekadisches Verhältnis (Dezimalverhältnis) brächte. Wir haben im vorhergehenden gesehen, daß die elektrische Einheit 1 *watt* nur $\frac{100}{\tilde{g}_\mathrm{P}} \cong 1{,}0194$ mal größer als 1 *kg* · *dm* : *sec* ist. Um ein einfaches Größenverhältnis zwischen den Einheiten zu erreichen, würde es also nur nötig sein, die elektrische Einheit um einen sehr geringen Betrag zu verkleinern. Dann würde man in einem **D. K. S.**-System

$$P_\mathrm{e} = E A = F_\mathrm{m} v = P_\mathrm{m}$$

erhalten anstatt, wie jetzt,

$$P_\mathrm{e} = \frac{\tilde{g}_\mathrm{P}}{100} P_\mathrm{m} \cong 0{,}98096\, P_\mathrm{m}\,.$$

Bei einer solchen eventuellen Veränderung würde man die Dimension der Einheit der elektromotorischen Kraft beibehalten können und somit nur eine neue Dimension der Einheit der Stromstärke zu bestimmen haben. Im **D. K. S.**-System, wo die Einheitsdimension der elektromotorischen Kraft $= \frac{10^5}{\sqrt{g_\mathrm{P}}} (\mathbf{D}\,\mathbf{K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1}) = 1$ *volt* ist, würde dann die Einheitsdimension der Stromstärke $= \frac{\sqrt{g_\mathrm{P}}}{10^5} \mathbf{K}^{1/2}$ werden anstatt, wie jetzt, $= \frac{10^{-3}}{\sqrt{g_\mathrm{P}}} \mathbf{K}^{1/2} = 1$ *ampère*, und würden sodann die Einheitsdimensionen des elektrischen Widerstandes, der elektrischen Energie, der elektrischen Leistung u. s. w. $= \frac{10^{10}}{g_\mathrm{P}} (\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1})$, $\mathbf{D}\,\mathbf{K}$, $\mathbf{D}\,\mathbf{K}\,\mathbf{S}^{-1}$ u. s. w. werden anstatt, wie jetzt, $= 10^8 (\mathbf{D}\,\mathbf{S}^{-1})$, $\frac{100}{g_\mathrm{P}} (\mathbf{D}\,\mathbf{K})$, $\frac{100}{g_\mathrm{P}} (\mathbf{D}\,\mathbf{K}\,\mathbf{S}^{-1})$ u. s. w. Die in der gegenwärtigen Praxis benutzten Namen der Einheiten, nämlich Ampère, Ohm, Joule, Watt u. s. w., könnten natürlich auch für die eventuell abgeänderten Einheiten benutzt werden, falls man an der Nomenklatur nichts ändern möchte.

In einem **D. T. S.**-System, worin *ton* · *dm* : *sec* als Einheit und sonach $\mathbf{D}\,\mathbf{T}\,\mathbf{S}^{-1}$ als Einheitsdimension der mechanischen Leistung gewählt wird, und worin man der Einheit der elektrischen Leistung die soeben angeführte Dimension ($\mathbf{D\,K\,S}^{-1} = 10^{-3}\,\mathbf{D\,T\,S}^{-1}$) geben wollte, würden die beiden Einheiten der Leistung in einem dekadischen Größenverhältnis zueinander stehen.

Für den Fall, daß man in den Dimensionsausdrücken der Einheiten eines eventuellen technischen Maßsystems alle kompliziertere Zifferfaktoren, wie die vorhin erwähnten $\frac{10^5}{\sqrt{\tilde{g}_P}}$, $\frac{\sqrt{\tilde{g}_P}}{10^5}$, $\frac{10^{-3}}{\sqrt{\tilde{g}_P}}$, vermeiden wollte, würde ein solcher Vorgang eine etwas größere Veränderung an den Einheiten herbeiführen. Wenn man sich aber entschlösse, die elektrischen Einheiten in ein einfaches Dimensionsverhältnis zu den mechanischen Einheiten zu setzen, so würde es zu empfehlen sein, nicht nur die Einheitsdimension der elektrischen Stromstärke zu verändern, sondern auch die der elektromotorischen Kraft; und man würde passende, von dem jetzigen Volt und dem jetzigen Ampère nicht so sehr abweichende Einheiten erhalten, wenn man in den **D. K. S.**-Dimensionsausdruck der Einheit der elektromotorischen Kraft anstatt $\frac{10^5}{\sqrt{\tilde{g}_P}}$ die Zahl 10^4 und in den der Einheit der elektrischen Stromstärke anstatt $\frac{10^{-3}}{\sqrt{\tilde{g}_P}}$ die Zahl 10^{-4} einsetzte, so daß die fraglichen Dimensionen $10^4\,(\mathbf{D\,K}^{1/2}\,\mathbf{S}^{-1})$ und $10^{-4}\,\mathbf{K}^{1/2}$ werden, und die Dimension der Leistung, wie vorhin, $\mathbf{D\,K\,S}^{-1}$ wird. Wollte man dann den Zifferfaktor 10^{-3} in der Formel $\tilde{E} = 10^{-3}\,l\,v\,\theta$ *volt* beibehalten, so würden sich für die Einheiten der Magnetismusstärke und der magnetischen Dichte die einfachen Dimensionen $10\,(\mathbf{D\,K}^{1/2})$ und $10\,(\mathbf{D}^{-1}\,\mathbf{K}^{1/2})$ ergeben, und es würden sich infolgedessen verschiedene andere Einheitsdimensionen auch vereinfachen. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Vereinfachung viele praktische Vorteile mit sich bringen würde.

Wollte man aber ein technisches Maßsystem aufstellen, in dessen Dimensionsausdrücken der Einheiten sich *keine* Zifferfaktoren befinden, so würde man allerdings auf etwas größere Schwierigkeiten stoßen als bei einer Vereinfachung nach der obigen Darstellung, denn es würde sich dabei herausstellen, daß einige der fundamentalen Einheiten unbequem groß und andere unbequem klein für manche Fälle der technischen Praxis würden. Im Falle eines solchen Maßsystems, das keineswegs undurchführbar ist, würde man es daher wohl kaum umgehen können, für etliche physikalische Größen zum praktischen Gebrauch Maßeinheiten einzuführen, die ein Bruchteil oder ein Vielfaches der entsprechenden fundamentalen Einheiten sind. Hinsichtlich der Nomenklatur der Einheiten hätte man in diesem Falle für die fundamentalen bezw. technisch wissenschaftlichen Einheiten geeignete Namen zu finden, und könnte man alsdann für die eventuell erforderlichen größeren oder kleineren Einheiten, für die sogen. Hilfseinheiten, Präfixen benutzen, z. B. zur Vervielfachung fundamentaler Einheiten:

Mega (*Meg*)-	für	eine	Hilfseinheit	gleich	10^6	fundamentale	Einheiten
Myria-	„	„	„	„	10^4	„	„
Kilo-	„	„	„	„	10^3	„	„
Hekto-	„	„	„	„	10^2	„	„
Deka-	„	„	„	„	10	„	„

und zur Teilung fundamentaler Einheiten:

Deci-	für	eine	Hilfseinheit	gleich	10^{-1}	der	fundamentalen	Einheit
Centi-	„	„	„	„	10^{-2}	„	„	„
Milli-	„	„	„	„	10^{-3}	„	„	„
(*Dimi*)-	„	„	„	„	10^{-4}	„	„	„
Micro (*Micr*)-	„		„	„	10^{-6}	„	„	„ .

Unseres Wissens besteht kein Präfix zwischen *Milli*- und *Micro*-, weshalb wir hier *Dimi*- (vom lat. *diminuo*) in Vorschlag bringen. Betrachtet man nun als Beispiel die Einheiten der elektromotorischen Kraft bezw. der elektrischen Spannung, der elektrischen Stromstärke und der elektrischen und mechanischen Leistung mit Rücksicht auf ein **D. K. S.**-System, so werden die neuen Einheitsdimensionen $\mathbf{D\,K^{1/2}\,S^{-1}}$, $\mathbf{K^{1/2}}$ und $\mathbf{D\,K\,S^{-1}}$. Diese Einheiten mögen hier zum Unterschied von anderen, entsprechenden Einheiten beiläufig *pressio*, *corrento* und *effecto* genannt werden. Da 1 *pressio* $\cong 10^{-4}$ *volt* und 1 *corrento* $\cong 10^4$ *ampère* ist, so würde dieses unbequem groß und jenes unbequem klein für die technische Praxis sein; dagegen würde das Myriapressio dem Volt und das Dimicorrento dem Ampère sehr nahe kommen. In der technischen Praxis kann man nämlich Einheiten von der Größe etwa des Volts und des Ampères auch gut benutzen. Das Effecto ist $= 1\ kg \cdot dm : sec \cong 0{,}98096$ *watt*; in der technischen Praxis würde man indessen Hilfseinheiten, wie Kilo- und Hektoeffecto, sehr gut gebrauchen können.

Wie die Sache sich bei irgend einem anderen System gestalten würde, erhellt ohne weiteres aus dem im obigen Gesagten.

V. Kapitel.

Nomenklatur der technophysikalischen Maßeinheiten.

124. Benennung der Maßeinheiten in der gegenwärtigen Wissenschaft und Praxis.

Betrachtet man die Einheiten des philosophischen **C. G. S.**-Systems, so findet man eine große Menge von Einheiten, die noch keinen Namen besitzen, und ferner, daß die schon bestehenden Namen, wenn man von den Namen *Centimeter* und *Sekunde* und den davon abgeleiteten Namen, wie *Centimeter* per *Sekunde*, absieht, ohne bestimmten Plan hinzugekommen sind, indem einige Namen, wie

Radiant von dem lateinischen Worte *radius*,
Steradiant „ „ griechischen „ στερεός und dem lateinischen *radius*,
Dyn „ „ „ „ δύναμις,
Erg „ „ „ „ ἔργον,

auf linguistischer Grundlage entstanden und andere Namen, wie

Maxwell nach dem englischen Physiker James Clerk Maxwell,
Gauß „ „ deutschen „ Karl Friedrich Gauß,
Gilbert „ „ englischen „ William Gilbert,
Oersted „ „ dänischen „ Hans Christian Örsted,

nach den Namen berühmter Physiker gebildet wurden. Es wäre vielleicht ganz angebracht, die Einheiten des philosophischen Maßsystems mit Namen nach berühmten Personen des philosophischen physikalischen Gebietes zu versehen, ausgenommen die geometrischen Einheiten und die Einheiten, deren Namen durch einfache Kombinationen der Namen der Grundmaße (*cm* per *sec*, *grm* per cm^3 u. s. w.) gebildet werden können. Dann müßten aber die Namen *Dyn* und *Erg* bei dem philosophischen Maßsystem fortgelassen und an deren Stelle persönliche Benennungen eingeführt werden. Als Ersatz des Dyns, des Namens der jetzigen philosophischen Krafteinheit, würde wohl der Name *Newton,* nach dem berühmten Isaak Newton, in erster Reihe in Frage kommen, und für das Erg, den Namen der Arbeit bezw. der Energie, würde man unter deutschen, französischen und italienischen Namen sehr leicht einen geeigneten Ersatz finden. Und für alle die übrigen Einheiten gibt es Namen genug zur Auswahl; auch dann, falls man die Namen der gegenwärtigen kommerziellen oder sogen. praktischen elektrischen Einheiten nicht auf die entsprechenden Einheiten des philosophischen Maßsystems übertragen wollte, was indessen wohl in Überlegung gezogen werden könnte, obschon es auch möglich wäre, die fraglichen Einheiten, mit geeigneten Präfixen versehen, zu benutzen, zumal da die Größe dieser Einheiten zu der Größe der philosophischen Einheiten in ein dezimales Verhältnis gesetzt worden sind.

Die Nomenklatur der in der technischen Praxis und in der technischen Wissenschaft der Gegenwart benutzten Einheiten hat auch keine einheitliche Grundlage; die Planlosigkeit tritt hier sogar noch schärfer hervor als bei der Nomenklatur der philosophischen Einheiten. Die Namen der mechanischen Einheiten sind Derivativa von den Namen Meter, Decimeter, Centimeter, Millimeter, Kilogramm, Minute und Sekunde, z. B. *mtr per sec*, $kg \cdot mtr : sec$, *Pferdestärke, poncelet, Umdrehungen per Minute.* Der Wärmeeinheit, die gleich rund 428 $kg \cdot mtr$ ist, hat man den Namen Kalorie (vom lat. *calor* = Wärme) gegeben; mitunter benutzt man eine Einheit, die 1000 mal kleiner ist, die Millikalorie. In der Optik begegnet man den Einheitsnamen Pyr (vom gr. πῦρ = Feuer), Lumen (vom lat. *lumen* = Licht), Lux (vom lat. *lux* = Glanz) u. s. w. In der Elektrotechnik benutzt man für die magnetischen Größen die Einheiten des philosophischen Maßsystems (*maxwell, gauß* u. s. w.) und für die elektrischen Größen die kommerziellen Einheiten (*volt, ampère, ohm* u. s. w.).

Da es von größter Wichtigkeit ist, daß die technischen Einheiten in Bezug auf Größe und Nomenklatur mit den kommerziellen Einheiten identisch sind oder wenigstens so weit wie irgend möglich mit diesen übereinstimmen, so kann man nur bedauern, daß die Technik zur Zeit der Bestimmung der kommerziellen elektrischen Einheiten, die ja auch technische Einheiten sein sollten, einesteils nicht bewirkte, daß diese Einheiten bezüglich der Größe in ein gerades oder dezimales Verhältnis zu den sonst üblichen praktischen und technischen Einheiten kamen, und somit auch tadellose technische elektrische Einheiten wurden, andernteils nicht verhinderte, daß kommerzielle und technische Einheiten mit persönlichen Benennungen versehen wurden. Nach unserem Erachten ist es nicht angemessen, die kommerziellen und technischen (d. i. praktischen) Maßeinheiten nach Personen zu benennen. Hier passen neutrale und möglichst internationale Namen unzweifelhaft am besten, weshalb es am geeignetsten erscheint, die Nomenklatur der fraglichen Einheiten auf linguistischer Grundlage vorzunehmen. Dies kann offenbar auf verschiedene Art und Weise geschehen, und man würde dann ohne große Schwierigkeit Namen bilden können, die von den verschiedenen Nationen leicht auszusprechen wären. Außerdem würde man dadurch bei internationalen Verhandlungen über die Nomenklatur der Einheiten leichter einig werden, als es der Fall ist, wenn persönliche Namen in Vorschlag gebracht werden, denn dann kommt der Chauvinismus leider zu leicht mit ins Spiel. Da die Namen der kommerziellen und technischen Einheiten auch in täglicher Rede benutzt werden, so ist die Frage der Aussprache der Namen dieser Einheiten jedenfalls nicht so geringfügig, wie es im ersten Moment scheinen mag, denn man darf nicht verlangen, daß das große Publikum jedes Fremdwort korrekt ausspreche. Sollen die persönlichen Namen der Einheiten ihren eigentlichen Zweck erfüllen, d. i. das Andenken an berühmte Persönlichkeiten sein, so müssen diese Namen auch korrekt ausgesprochen werden und nicht, wie jetzt, aufs Geratewohl. Wer sich dafür interessiert, der beobachte z. B., wie man in Frankreich und manchmal auch in Deutschland den Einheitsnamen *Joule* und in England die Einheitsnamen *Ampère* und *Gauß* ausspricht. Noch weniger Achtung erzeigt man solchen Namen, wenn man dieselben sprachwidrig abkürzt oder verändert, wie z. B. das englische Wort *ammeter* an Stelle von *ampèremeter* und das deutsche Wort *Amper* an Stelle von *Ampère* zeigen. Schon der Umstand, daß man bestrebt ist, die Namen zu verändern, beweist ja auch, wie ungeeignet es ist, praktischen Maßeinheiten persönliche Namen zu geben.

Es ist ein berechtigtes Streben, das Andenken an berühmte Physiker der Vergangenheit für die Zukunft zu bewahren, aber wenn dies durch die Nomenklatur physikalischer Maßeinheiten geschehen soll, so sind nur die philosophischen Einheiten geeignet, persönliche Benennungen zu führen. Da die philosophische physikalische Wissenschaft viel mehr international ist als die technische Wissenschaft oder Technik, so würden sich die Physiker nicht nur über die Wahl der Namen für die verschiedenen Einheiten leicht einigen, sondern auch über das korrekte Bestehen der gewählten Namen sorgfältig wachen können. Zwar würde es jetzt schon mit gewissen Schwierigkeiten verknüpft sein, die gegenwärtigen Namen der kommerziellen Einheiten (*volt, ampère, watt* u. s. w.) auf die philosophischen Einheiten zu übertragen und für jene neue, auf linguistischer Grundlage gebildete Namen einzuführen. Unseres Ermessens wäre eine solche Veränderung jedoch noch ausführbar und auch wünschenswert, und wir glauben, die Wissenschaft und Praxis der Zukunft würde der jetzigen Wissenschaft und Praxis Dank wissen, wenn diese die fragliche Angelegenheit nach reiflicher Erwägung zweckmäßig und endgültig erledigte. Daß man gleichzeitig hiermit die Frage des geeignetsten Größenverhältnisses zwischen den elektrischen und mechanischen Einheiten der Technik in ernstliche Erwägung ziehen sollte, versteht sich von selbst, denn der jetzige Zustand ist keineswegs als musterhaft zu bezeichnen.

125. Benennung der technischen Maßeinheiten auf linguistischer Grundlage.

Sämtliche geometrische, mechanische, kalorische und optische Maßeinheiten tragen schon Namen, die auf linguistischer Grundlage gebildet sind, z. B. *dm*, mm^2, *Radiant*, *mtr* : *sec*, *kg* : dm^3, *kg* · *mtr* : *sec*, *Kalorie, Pyr, Lumen, Lux.* Technische magnetische Einheiten hat man bis jetzt nicht und daher auch keine technische Einheitsnamen. Die gegenwärtigen kommerziellen elektrischen Einheiten, die im allgemeinen auch als technische elektrische Einheiten angesehen werden, tragen meistens persönliche Namen. Für den Fall, daß man sich entschließen würde, persönliche Benennungen aller technischen Einheiten zu vermeiden, würde man also zunächst für die elektrischen Einheiten neue Namen zu bilden haben. Wollte man indessen die ganze Nomenklatur der technischen Einheiten systematisch und einheitlich nach einem und demselben Grundsatze ordnen, so müßte man außerdem verschiedene neue Namen einführen.

Um auf linguistischer Grundlage eine Nomenklatur der technischen Maßeinheiten zu bewerkstelligen, kann man natürlich verschiedene Wege einschlagen. So z. B. könnte man die Einheitsnamen aus den Namen der entsprechenden physikalischen Größen bezw. aus hiermit nahe verwandten Wörtern in der Weise bilden, daß die Einheitsnamen eine ausgesprochene Ähnlichkeit mit den entsprechenden Größennamen in möglichst vielen Sprachen bekommen. In diesem Falle würden die Einheitsnamen freilich ein hauptsächlich romanisches Gepräge erhalten, da die entsprechenden Namen der physikalischen Größen in allen romanischen Sprachen große Ähnlichkeit haben, und die englischen Namen dieser Größen meistens den romanischen Sprachen entlehnt sind; aber trotzdem würde die Aussprache der Einheitsnamen den Germanen, Slaven u. s. w. keine Schwierigkeit bereiten. Tabelle IX zeigt einige Beispiele von Einheitsnamen, die durch Ableitung von den Größennamen oder von damit nahe verwandten Wörtern aus verschiedenen Sprachen gebildet sind. Da es jedenfalls vorteilhaft ist, daß ein augenscheinlicher linguistischer Zusammenhang zwischen den Einheitsnamen und den entsprechenden Größennamen besteht, so empfiehlt es sich, die Einheitsnamen dreisilbig zu bilden.

Legt man aber keinen Wert auf linguistischen Zusammenhang zwischen den Einheitsnamen und den Größennamen, so würde man die Einheitsnamen vielleicht am bequemsten durch einfache, aber systematische Zusammenfügung von zwei kurzen Silben bilden können. Die kürzesten Silben bestehen bekanntlich aus einem bloßen Vokal, und die nächstkurzen aus einem Konsonanten mit einem folgenden Vokal. Durch verschiedene Zusammenfügung solcher offener Silben ist es möglich, wie man z. B. aus der japanischen Sprache ersehen kann, eine große Menge von verschiedenen Wörtern zu bilden. (Vgl. die beiden japanischen Systeme der Silbenschrift *Hirakana* und *Katakana* und die den Schriftzeichen dieser Systeme entsprechenden Laute!)

Da es aber nur darauf ankommt, Namen zur Benennung der technischen Maßeinheiten zu beschaffen, kommt man mit einer verhältnismäßig kleinen Anzahl von Wörtern aus. Man würde also unter den zweisilbigen Wörtern eine große Auswahl haben, denn es würden, falls man die in Tabelle X zusammengestellten Silben

den Wörtern abgeleitet:		Entsprechendes deutsches Wort
portugiesisch (Substantive)	englisch (Substantive)	
pressão	*pressure*	**Druck**
pressão	*pressure*	**Druck**
corrente	*current*	**Strom**
resistencia	*resistance*	**Widerstand**
*conductividade**)	*conductivity**)	**Leit(ungs)fähigkeit**
força	*force*	**Kraft**
lavor (trabalho)	*labour (work)*	**Arbeit**
effeito	*effect (power)*	**Leistung**
inducção	*induction*	**Induktion**
quantidade	*quantity*	**Menge**
capacidade	*capacity*	**Aufnahmefähigkeit**
*receptividade***)	*receptivity***)	
força	*force*	**Kraft**
polo	*pole*	**Pol**
campo	*(field)*	**Feld**
excitação	*excitation*	**Erregung**
força	*force*	**Kraft**
lavor (trabalho)	*labour (work)*	**Arbeit**
effeito	*effect (power)*	**Leistung**

benutzen wollte, nicht weniger als 4830 verschiedene Wörter entstehen. Um die Nomenklatur einheitlich und systematisch zu gestalten, müßte die Kombination der Silben, die Bildung der Einheitsnamen, nach einer bestimmten Methode vorgenommen werden. Bei der Bildung der Namen könnte man durch bestimmte Wahl der beiden Silben oder durch besondere Affixe (eine dritte Silbe oder nur einen bloßen Konsonanten) auch die Art der Einheiten (mechanische, elektrische u. s. w.) kennzeichnen.

Tabelle X.

	a	e	i	o	u
b	**ba**	**be**	**bi**	**bo**	**bu**
d	**da**	**de**	**di**	**do**	**du**
f	**fa**	**fe**	**fi**	**fo**	**fu**
g	**ga**	**ge**	**gi**	**go**	**gu**
h	**ha**	**he**	**hi**	**ho**	**hu**
k	**ka**	**ke**	**ki**	**ko**	**ku**
l	**la**	**le**	**li**	**lo**	**lu**
m	**ma**	**me**	**mi**	**mo**	**mu**
n	**na**	**ne**	**ni**	**no**	**nu**
p	**pa**	**pe**	**pi**	**po**	**pu**
r	**ra**	**re**	**ri**	**ro**	**ru**
s	**sa**	**se**	**si**	**so**	**su**
t	**ta**	**te**	**ti**	**to**	**tu**
v	**va**	**ve**	**vi**	**vo**	**vu**

Bei einer solchen Wortbildung wäre es ja nicht ausgeschlossen, daß man hier und da einen Einheitsnamen erhält, der in der Aussprache mit irgend einem japanischen Worte Ähnlichkeit hat. Will man dies besonders vermeiden, müßte man von den Buchstaben f und l auf geeignete Weise Gebrauch machen, denn diesen Buchstaben entsprechende Laute kennt die japanische Sprache nicht.

Man würde natürlich auch eine sehr große Anzahl einsilbiger Einheitsnamen bilden können, wenn man den in der Tabelle angegebenen einfachen Silben einzelne Konsonanten nach einem bestimmten Prinzipe hinzufügte. — Außer den angedeuteten Kombinationen sind aber verschiedene andere möglich.

Auf die Frage der Nomenklatur der Maßeinheiten noch näher einzugehen, dürfte zu früh sein.

Tabelle XI A—E.

Tabellarisches Verzeichnis der in diesem Buche zur algebraischen Bezeichnung vorgeschlagenen und benutzten Buchstaben.

Die benutzten Buchstaben werden durch eine ihnen gegenüberstehende Zahl gekennzeichnet. Diese Zahl gibt die Seite an, auf welcher die bezügliche Größe erwähnt wird.

Buchstaben, denen keine Zahlen gegenüberstehen, sind nicht benutzt.

Tabelle XI A. Algebraische Bezeichnungen aus dem lateinischen Alphabet.

A	194	a	46	A_x		A_y		A_z		a_x		a_y		a_z	
B	82	b	42	B_x		B_y		B_z		b_x		b_y		b_z	
C	223	c		C_x		C_y		C_z		c_x		c_y		c_z	
D	208	d	43	D_x	82	D_y		D_z		d_x		d_y		d_z	
E	197	e	5	E_x		E_y		E_z		—	—	—	—	—	—
F_m*)	58	f	228	F_x		F_y**)	4	F_z*)	21	f_x		f_y		f_z	
F_e*)	213														
F_K**)	260														
G	48	g	47	G_x		G_y		G_z		—	—	—	—	—	—
H	83	h	42	H_x		H_y		H_z		h_x		h_y		h_z	
I	82	i	224	I_x		I_y		I_z		i_x		i_y		i_z	

J	91	j		J_x		J_y		J_z		j_x		j_y		j_z	
K	70	k	4	K_x		K_y		K_z		—	—	—	—	—	—
L	207	l	42	L_x		L_y		L_z		l_x		l_y		l_z	
M	53	m	228	M_x		M_y		M_z		m_x	45	m_y		m_z	
N	5	n	45	—	—	—	—	—	—	n_x		n_y		n_z	
O	81	o	43	O_x		O_y		O_z		o_x		o_y		o_z	
P_m*)	68	p		P_x		P_y**)		P_z*)	21	p_x		p_y		p_z	
P_e*)	215														
Q	222	q		Q_x		Q_y		Q_z		q_x		q_y		q_z	
R	201	r	42	R_x		R_y		R_z		r_x		r_y		r_z	
S	42	s	43	S_x		S_y		S_z		s_x		s_y		s_z	
T	91	t	44	T_x		T_y		T_z		t_x		t_y		t_z	
U	55	u		U_x		U_y		U_z		u_x		u_y		u_z	
V	42	v	45	V_x		V_y		V_z		v_x		v_y		v_z	
W_m*)	65	w	46	W_x		W_y**)	4	W_z*)	21	w_x		w_y		w_z	
W_e*)	214														
W_K**)	260														
X	5	x	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	5	y	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z	5	z	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

---

*) Siehe die Fußnote auf Seite 21.

**) Siehe Seite 4 und Seite 25.

Tabelle XI B. Algebraische Bezeichnungen aus dem deutschen Alphabet.

$\mathfrak{A}$		$\mathfrak{a}$		$\mathfrak{A}_x$		$\mathfrak{A}_y$		$\mathfrak{A}_z$		$\mathfrak{a}_x$		$\mathfrak{a}_y$		$\mathfrak{a}_z$	
$\mathfrak{B}$	127	$\mathfrak{b}$		$\mathfrak{B}_x$		$\mathfrak{B}_y$		$\mathfrak{B}_z$		$\mathfrak{b}_x$		$\mathfrak{b}_y$		$\mathfrak{b}_z$	
$\mathfrak{C}$	266	$\mathfrak{c}$		$\mathfrak{C}_x$		$\mathfrak{C}_y$		$\mathfrak{C}_z$		$\mathfrak{c}_x$		$\mathfrak{c}_y$		$\mathfrak{c}_z$	
$\mathfrak{D}$	275	$\mathfrak{d}$		$\mathfrak{D}_x$	124	$\mathfrak{D}_y$		$\mathfrak{D}_z$		$\mathfrak{d}_x$		$\mathfrak{d}_y$		$\mathfrak{d}_z$	
$\mathfrak{E}$	128	$\mathfrak{e}$		$\mathfrak{E}_x$		$\mathfrak{E}_y$		$\mathfrak{E}_z$		$\mathfrak{e}_x$		$\mathfrak{e}_y$		$\mathfrak{e}_z$	
$\mathfrak{F}$	116	$\mathfrak{f}$		$\mathfrak{F}_x$	286	$\mathfrak{F}_y$		$\mathfrak{F}_z$	287	$\mathfrak{f}_x$		$\mathfrak{f}_y$		$\mathfrak{f}_z$	
$\mathfrak{G}$		$\mathfrak{g}$		$\mathfrak{G}_x$		$\mathfrak{G}_y$		$\mathfrak{G}_z$		$\mathfrak{g}_x$		$\mathfrak{g}_y$		$\mathfrak{g}_z$	
$\mathfrak{H}$	277	$\mathfrak{h}$		$\mathfrak{H}_x$		$\mathfrak{H}_y$		$\mathfrak{H}_z$		$\mathfrak{h}_x$		$\mathfrak{h}_y$		$\mathfrak{h}_z$	
$\mathfrak{I}$	123	$\mathfrak{i}$		$\mathfrak{I}_x$		$\mathfrak{I}_y$		$\mathfrak{I}_z$		$\mathfrak{i}_x$		$\mathfrak{i}_y$		$\mathfrak{i}_z$	
$\mathfrak{J}$	—	$\mathfrak{j}$		$\mathfrak{J}_x$	—	$\mathfrak{J}_y$	—	$\mathfrak{J}_z$	—	$\mathfrak{j}_x$		$\mathfrak{j}_y$		$\mathfrak{j}_z$	
$\mathfrak{K}$	265	$\mathfrak{k}$	4	$\mathfrak{K}_x$		$\mathfrak{K}_y$		$\mathfrak{K}_z$		—	—	—	—	—	—
$\mathfrak{L}$	279	$\mathfrak{l}$		$\mathfrak{L}_x$		$\mathfrak{L}_y$		$\mathfrak{L}_z$		$\mathfrak{l}_x$		$\mathfrak{l}_y$		$\mathfrak{l}_z$	
$\mathfrak{M}$	128	$\mathfrak{m}$		$\mathfrak{M}_x$		$\mathfrak{M}_y$		$\mathfrak{M}_z$		$\mathfrak{m}_x$		$\mathfrak{m}_y$		$\mathfrak{m}_z$	
$\mathfrak{N}$	263	$\mathfrak{n}$		$\mathfrak{N}_x$		$\mathfrak{N}_y$		$\mathfrak{N}_z$		$\mathfrak{n}_x$		$\mathfrak{n}_y$		$\mathfrak{n}_z$	
$\mathfrak{O}$		$\mathfrak{o}$		$\mathfrak{O}_x$		$\mathfrak{O}_y$		$\mathfrak{O}_z$		$\mathfrak{o}_x$		$\mathfrak{o}_y$		$\mathfrak{o}_z$	
$\mathfrak{P}$	249	$\mathfrak{p}$		$\mathfrak{P}_x$	124	$\mathfrak{P}_y$		$\mathfrak{P}_z$	287	$\mathfrak{p}_x$		$\mathfrak{p}_y$		$\mathfrak{p}_z$	
$\mathfrak{Q}$		$\mathfrak{q}$		$\mathfrak{Q}_x$		$\mathfrak{Q}_y$		$\mathfrak{Q}_z$		$\mathfrak{q}_x$		$\mathfrak{q}_y$		$\mathfrak{q}_z$	
$\mathfrak{R}$	275	$\mathfrak{r}$		$\mathfrak{R}_x$		$\mathfrak{R}_y$		$\mathfrak{R}_z$		$\mathfrak{r}_x$		$\mathfrak{r}_y$		$\mathfrak{r}_z$	
$\mathfrak{S}$	126	ſ		$\mathfrak{S}_x$		$\mathfrak{S}_y$		$\mathfrak{S}_z$		ſ_x		ſ_y		ſ_z	
		$\mathfrak{s}$								$\mathfrak{s}_x$		$\mathfrak{s}_y$		$\mathfrak{s}_z$	
$\mathfrak{T}$	109	$\mathfrak{t}$		$\mathfrak{T}_x$		$\mathfrak{T}_y$		$\mathfrak{T}_z$		$\mathfrak{t}_x$		$\mathfrak{t}_y$		$\mathfrak{t}_z$	

$\mathfrak{U}$		$\mathfrak{u}$		$\mathfrak{U}_x$		$\mathfrak{U}_y$		$\mathfrak{U}_z$		$\mathfrak{u}_x$		$\mathfrak{u}_y$		$\mathfrak{u}_z$
$\mathfrak{V}$		$\mathfrak{v}$		$\mathfrak{V}_x$		$\mathfrak{V}_y$		$\mathfrak{V}_z$		$\mathfrak{v}_x$		$\mathfrak{v}_y$		$\mathfrak{v}_z$
$\mathfrak{W}$	107	$\mathfrak{w}$		$\mathfrak{W}_x$	122	$\mathfrak{W}_y$		$\mathfrak{W}_z$	287	$\mathfrak{w}_x$		$\mathfrak{w}_y$		$\mathfrak{w}_z$
$\mathfrak{X}$		$\mathfrak{x}$		$\mathfrak{X}_x$		$\mathfrak{X}_y$		$\mathfrak{X}_z$		$\mathfrak{x}_x$		$\mathfrak{x}_y$		$\mathfrak{x}_z$
$\mathfrak{Y}$		$\mathfrak{y}$		$\mathfrak{Y}_x$		$\mathfrak{Y}_y$		$\mathfrak{Y}_z$		$\mathfrak{y}_x$		$\mathfrak{y}_y$		$\mathfrak{y}_z$
$\mathfrak{Z}$		$\mathfrak{z}$		$\mathfrak{Z}_x$		$\mathfrak{Z}_y$		$\mathfrak{Z}_z$		$\mathfrak{z}_x$		$\mathfrak{z}_y$		$\mathfrak{z}_z$

Tabelle XI C. Algebraische Bezeichnungen aus dem russischen Alphabet.

А	—	Й		С	—	Ъ	129	а	—	й		с	—	ъ
Б	135	І	—	Т	—	Ы		б		і	—	т	—	ы
В	—	К	—	У	—	Ь	130	в	—	к	—	у	—	ь
Г		Л	137	Ф	144	Ѣ		г		л		ф		ѣ
Д		М	—	Х	—	Э	288	д		м	—	х	—	э
Е	—	Н	—	Ц	139	Ю	149	е	—	н	—	ц		ю
Ж	130	О	—	Ч	138	Я	133	ж		о	—	ч		я
З		П		Ш	136	Ѳ	144	з		п		ш		ѳ
И		Р	—	Щ	288			и		р	—	щ		

Tabelle XI D. Algebraische Bezeichnungen aus dem griechischen Alphabet.

Α	—	Ξ		α	3	ξ	
Β	—	Ο	—	β	3	ο	—
Γ	—	Π	—	γ	3	π	43
Δ	88	Ρ	—	δ	3	ρ	
Ε	—	Σ	81	ε	238	σ	3
Ζ	—			ζ		ς	
Η	—	Τ	—	η	5		
Θ	—	Υ		ϑ		υ	
Ι	—	Φ	—	ι		φ	226
Κ	—	Χ	—	κ		χ	
Λ		Ψ		λ		ψ	
Μ	—	Ω		μ		ω	
Ν	—			ν			

Tabelle XI E.
Algebraische Bezeichnung der Koeffizienten.

$\mathfrak{K}_a$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{a}}$		$\mathfrak{K}_\alpha$	307	$\mathfrak{k}_a$	198	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{a}}$		$\mathfrak{k}_\alpha$	
$\mathfrak{K}_b$	86	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{b}}$		$\mathfrak{K}_\beta$	307	$\mathfrak{k}_b$	194	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{b}}$		$\mathfrak{k}_\beta$	
$\mathfrak{K}_c$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{c}}$	113	$\mathfrak{K}_\gamma$		$\mathfrak{k}_c$	207	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{c}}$		$\mathfrak{k}_\gamma$	
$\mathfrak{K}_d$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{d}}$	115	$\mathfrak{K}_\delta$		$\mathfrak{k}_d$	223	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{d}}$		$\mathfrak{k}_\delta$	
$\mathfrak{K}_e$	88	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{e}}$	114	$\mathfrak{K}_\varepsilon$	321	$\mathfrak{k}_e$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{e}}$		$\mathfrak{k}_\varepsilon$	
$\mathfrak{K}_f$	86	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{f}}$	117	$\mathfrak{K}_\zeta$	268	$\mathfrak{k}_f$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{f}}$		$\mathfrak{k}_\zeta$	
$\mathfrak{K}_g$	51	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{g}}$	118	$\mathfrak{K}_\eta$		$\mathfrak{k}_g$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{g}}$		$\mathfrak{k}_\eta$	
$\mathfrak{K}_h$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{h}}$	119	$\mathfrak{K}_\vartheta$		$\mathfrak{k}_h$	195	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{h}}$		$\mathfrak{k}_\vartheta$	
$\mathfrak{K}_i$	90	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{i}}$		$\mathfrak{K}_\iota$		$\mathfrak{k}_i$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{i}}$		$\mathfrak{k}_\iota$	
$\mathfrak{K}_j$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{j}}$		$\mathfrak{K}_\varkappa$	278	$\mathfrak{k}_j$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{j}}$		$\mathfrak{k}_\varkappa$	
$\mathfrak{K}_k$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{k}}$		$\mathfrak{K}_\lambda$		$\mathfrak{k}_k$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{k}}$		$\mathfrak{k}_\lambda$	
$\mathfrak{K}_l$	88	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{l}}$		$\mathfrak{K}_\mu$	263	$\mathfrak{k}_l$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{l}}$		$\mathfrak{k}_\mu$	
$\mathfrak{K}_m$	55	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{m}}$	123	$\mathfrak{K}_\nu$		$\mathfrak{k}_m$	222	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{m}}$		$\mathfrak{k}_\nu$	
$\mathfrak{K}_n$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{n}}$		$\mathfrak{K}_\xi$		$\mathfrak{k}_n$	314	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{n}}$		$\mathfrak{k}_\xi$	
$\mathfrak{K}_o$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{o}}$		$\mathfrak{K}_o$	—	$\mathfrak{k}_o$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{o}}$		$\mathfrak{k}_o$	—
$\mathfrak{K}_p$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{p}}$	110	$\mathfrak{K}_\pi$		$\mathfrak{k}_p$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{p}}$		$\mathfrak{k}_\pi$	
$\mathfrak{K}_q$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{q}}$		$\mathfrak{K}_\varrho$		$\mathfrak{k}_q$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{q}}$		$\mathfrak{k}_\varrho$	
$\mathfrak{K}_r$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{r}}$	112	$\mathfrak{K}_\sigma$		$\mathfrak{k}_r$	206	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{r}}$		$\mathfrak{k}_\sigma$	
$\mathfrak{K}_s$		$\mathfrak{K}_{ſ}$		$\mathfrak{K}_\varsigma$		$\mathfrak{k}_s$	220	$\mathfrak{k}_{ſ}$		$\mathfrak{k}_\varsigma$	
		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{s}}$	114	$\mathfrak{K}_\tau$				$\mathfrak{k}_{\mathfrak{s}}$		$\mathfrak{k}_\tau$	
$\mathfrak{K}_t$	86	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{t}}$		$\mathfrak{K}_\upsilon$		$\mathfrak{k}_t$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{t}}$		$\mathfrak{k}_\upsilon$	
$\mathfrak{K}_u$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{u}}$		$\mathfrak{K}_\varphi$		$\mathfrak{k}_u$	206	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{u}}$		$\mathfrak{k}_\varphi$	
$\mathfrak{K}_v$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{v}}$	112	$\mathfrak{K}_\chi$		$\mathfrak{k}_v$	207	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{v}}$		$\mathfrak{k}_\chi$	
$\mathfrak{K}_w$		$\mathfrak{K}_{\mathfrak{w}}$		$\mathfrak{K}_\psi$	271	$\mathfrak{k}_w$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{w}}$		$\mathfrak{k}_\psi$	
$\mathfrak{K}_x$	—	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{x}}$		$\mathfrak{K}_\omega$	268	$\mathfrak{k}_x$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{x}}$		$\mathfrak{k}_\omega$	
$\mathfrak{K}_y$	—	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{y}}$				$\mathfrak{k}_y$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{y}}$			
$\mathfrak{K}_z$	—	$\mathfrak{K}_{\mathfrak{z}}$				$\mathfrak{k}_z$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{z}}$			

Tabelle XI E.

(Fortsetzung.)

k_{A}		$k_{\mathfrak{A}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{A}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{A}}$	
k_{B}		$k_{\mathfrak{B}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{B}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{B}}$	
k_{C}		$k_{\mathfrak{C}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{C}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{C}}$	
k_{D}	83	$k_{\mathfrak{D}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{D}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{D}}$	
k_{E}		$k_{\mathfrak{E}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{E}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{E}}$	
k_{F}		$k_{\mathfrak{F}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{F}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{F}}$	
k_{G}	50	$k_{\mathfrak{G}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{G}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{G}}$	
k_{H}		$k_{\mathfrak{H}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{H}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{H}}$	
k_{I}		$k_{\mathfrak{I}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{I}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{I}}$	
k_{J}		$k_{\mathfrak{J}}$	—	$\mathfrak{k}_{\mathrm{J}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{J}}$	—
k_{K}		$k_{\mathfrak{K}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{K}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{K}}$	
k_{L}		$k_{\mathfrak{L}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{L}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{L}}$	
k_{M}	55	$k_{\mathfrak{M}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{M}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{M}}$	
k_{N}		$k_{\mathfrak{N}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{N}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{N}}$	
k_{O}		$k_{\mathfrak{O}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{O}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{O}}$	
k_{P}		$k_{\mathfrak{P}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{P}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{P}}$	
k_{Q}		$k_{\mathfrak{Q}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{Q}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{Q}}$	
k_{R}		$k_{\mathfrak{R}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{R}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{R}}$	
k_{S}		$k_{\mathfrak{S}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{S}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{S}}$	
k_{T}		$k_{\mathfrak{T}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{T}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{T}}$	
k_{U}	94	$k_{\mathfrak{U}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{U}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{U}}$	
k_{V}	52	$k_{\mathfrak{V}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{V}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{V}}$	
k_{W}		$k_{\mathfrak{W}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{W}}$		$\mathfrak{k}_{\mathfrak{W}}$	
k_{X}	—	$k_{\mathfrak{X}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{X}}$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{X}}$	
k_{Y}	—	$k_{\mathfrak{Y}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{Y}}$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{Y}}$	
k_{Z}	—	$k_{\mathfrak{Z}}$		$\mathfrak{k}_{\mathrm{Z}}$	—	$\mathfrak{k}_{\mathfrak{Z}}$	

Tabelle XI E.
(Fortsetzung.)

kk_a		$kk_{\mathfrak{a}}$		kk_α	255	$\mathfrak{kk}_a$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{a}}$	129	$\mathfrak{kk}_\alpha$	
kk_b		$kk_{\mathfrak{b}}$		kk_β	256	$\mathfrak{kk}_b$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{b}}$		$\mathfrak{kk}_\beta$	
kk_c		$kk_{\mathfrak{c}}$		kk_γ	257	$\mathfrak{kk}_c$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{c}}$		$\mathfrak{kk}_\gamma$	
kk_d		$kk_{\mathfrak{d}}$		kk_δ	258	$\mathfrak{kk}_d$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{d}}$	133	$\mathfrak{kk}_\delta$	
kk_e		$kk_{\mathfrak{e}}$		kk_ε	258	$\mathfrak{kk}_e$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{e}}$		$\mathfrak{kk}_\varepsilon$	
kk_f		$kk_{\mathfrak{f}}$		kk_ζ	258	$\mathfrak{kk}_f$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{f}}$		$\mathfrak{kk}_\zeta$	
kk_g		$kk_{\mathfrak{g}}$		kk_η		$\mathfrak{kk}_g$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{g}}$		$\mathfrak{kk}_\eta$	
kk_h		$kk_{\mathfrak{h}}$		kk_ϑ		$\mathfrak{kk}_h$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{h}}$		$\mathfrak{kk}_\vartheta$	
kk_i		$kk_{\mathfrak{i}}$		kk_ι		$\mathfrak{kk}_i$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{i}}$		$\mathfrak{kk}_\iota$	
kk_j		$kk_{\mathfrak{j}}$		$kk_\varkappa$		$\mathfrak{kk}_j$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{j}}$		$\mathfrak{kk}_\varkappa$	
kk_k		$kk_{\mathfrak{k}}$		kk_λ		$\mathfrak{kk}_k$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{k}}$		$\mathfrak{kk}_\lambda$	
kk_l		$kk_{\mathfrak{l}}$		kk_μ		$\mathfrak{kk}_l$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{l}}$		$\mathfrak{kk}_\mu$	
kk_m		$kk_{\mathfrak{m}}$		kk_ν		$\mathfrak{kk}_m$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{m}}$		$\mathfrak{kk}_\nu$	
kk_n		$kk_{\mathfrak{n}}$		kk_ξ		$\mathfrak{kk}_n$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{n}}$		$\mathfrak{kk}_\xi$	
kk_o		$kk_{\mathfrak{o}}$		kk_o	—	$\mathfrak{kk}_o$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{o}}$		$\mathfrak{kk}_o$	—
kk_p		$kk_{\mathfrak{p}}$		kk_π		$\mathfrak{kk}_p$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{p}}$		$\mathfrak{kk}_\pi$	
kk_q		$kk_{\mathfrak{q}}$		kk_ϱ		$\mathfrak{kk}_q$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{q}}$		$\mathfrak{kk}_\varrho$	
kk_r		$kk_{\mathfrak{r}}$		kk_σ		$\mathfrak{kk}_r$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{r}}$		$\mathfrak{kk}_\sigma$	
kk_s		$kk_{\text{ſ}}$		kk_ς		$\mathfrak{kk}_s$		$\mathfrak{kk}_{\text{ſ}}$		$\mathfrak{kk}_\varsigma$	
		$kk_{\mathfrak{s}}$		kk_τ				$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{s}}$		$\mathfrak{kk}_\tau$	
kk_t		$kk_{\mathfrak{t}}$		kk_υ		$\mathfrak{kk}_t$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{t}}$		$\mathfrak{kk}_\upsilon$	
kk_u		$kk_{\mathfrak{u}}$		kk_φ		$\mathfrak{kk}_u$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{u}}$		$\mathfrak{kk}_\varphi$	
kk_v		$kk_{\mathfrak{v}}$		kk_χ		$\mathfrak{kk}_v$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{v}}$		$\mathfrak{kk}_\chi$	
kk_w		$kk_{\mathfrak{w}}$		kk_ψ		$\mathfrak{kk}_w$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{w}}$		$\mathfrak{kk}_\psi$	
kk_x	—	$kk_{\mathfrak{x}}$		kk_ω		$\mathfrak{kk}_x$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{x}}$		$\mathfrak{kk}_\omega$	
kk_y	—	$kk_{\mathfrak{y}}$				$\mathfrak{kk}_y$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{y}}$			
kk_z	—	$kk_{\mathfrak{z}}$				$\mathfrak{kk}_z$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{z}}$			

Tabelle XI E.
(Fortsetzung.)

$\boldsymbol{kk}_A$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{A}}$		$\mathfrak{kk}_A$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{A}}$	
$\boldsymbol{kk}_B$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{B}}$		$\mathfrak{kk}_B$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{B}}$	
$\boldsymbol{kk}_C$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{C}}$		$\mathfrak{kk}_C$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{C}}$	
$\boldsymbol{kk}_D$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{D}}$		$\mathfrak{kk}_D$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{D}}$	
$\boldsymbol{kk}_E$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{E}}$		$\mathfrak{kk}_E$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{E}}$	
$\boldsymbol{kk}_F$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{F}}$		$\mathfrak{kk}_F$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{F}}$	
$\boldsymbol{kk}_G$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{G}}$		$\mathfrak{kk}_G$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{G}}$	
$\boldsymbol{kk}_H$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{H}}$		$\mathfrak{kk}_H$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{H}}$	
$\boldsymbol{kk}_I$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{I}}$		$\mathfrak{kk}_I$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{I}}$	
$\boldsymbol{kk}_J$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{J}}$	—	$\mathfrak{kk}_J$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{J}}$	—
$\boldsymbol{kk}_K$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{K}}$		$\mathfrak{kk}_K$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{K}}$	
$\boldsymbol{kk}_L$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{L}}$		$\mathfrak{kk}_L$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{L}}$	
$\boldsymbol{kk}_M$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{M}}$		$\mathfrak{kk}_M$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{M}}$	
$\boldsymbol{kk}_N$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{N}}$		$\mathfrak{kk}_N$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{N}}$	
$\boldsymbol{kk}_O$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{O}}$		$\mathfrak{kk}_O$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{O}}$	
$\boldsymbol{kk}_P$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{P}}$		$\mathfrak{kk}_P$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{P}}$	
$\boldsymbol{kk}_Q$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{Q}}$		$\mathfrak{kk}_Q$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{Q}}$	
$\boldsymbol{kk}_R$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{R}}$		$\mathfrak{kk}_R$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{R}}$	
$\boldsymbol{kk}_S$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{S}}$		$\mathfrak{kk}_S$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{S}}$	
$\boldsymbol{kk}_T$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{T}}$		$\mathfrak{kk}_T$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{T}}$	
$\boldsymbol{kk}_U$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{U}}$		$\mathfrak{kk}_U$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{U}}$	
$\boldsymbol{kk}_V$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{V}}$		$\mathfrak{kk}_V$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{V}}$	
$\boldsymbol{kk}_W$		$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{W}}$		$\mathfrak{kk}_W$		$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{W}}$	
$\boldsymbol{kk}_X$	—	$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{X}}$		$\mathfrak{kk}_X$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{X}}$	
$\boldsymbol{kk}_Y$	—	$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{Y}}$		$\mathfrak{kk}_Y$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{Y}}$	
$\boldsymbol{kk}_Z$	—	$\boldsymbol{kk}_{\mathfrak{Z}}$		$\mathfrak{kk}_Z$	—	$\mathfrak{kk}_{\mathfrak{Z}}$	

Alphabetisches Register.

Die Ziffern bezeichnen die Seiten.

Absolut 51.
Absolute Maßsysteme 32.
Absoluter Nullpunkt der Temperatur 107.
Abstoßung elektrischer Leiter 161.
Acceleration 10.
Achse, Magnet- 136.
Adhäsion 59.
Adhäsionskraft 58.
Aëromagnetischer Querschnitt 142.
Aggregationszustände 60, 117, 118.
Akkumulator, elektrischer 73, 255.
Akustik 1.
Akustische Größen 4, 16, 287.
Algebraische Ausdrücke 29.
— Bezeichnung der physikalischen Größen 2, 9, 280, 299, 328, 346, 350.
Alphabete, verschiedene 3, 7.
Ampère, André Marie 161, 196.
Ampère, die Einheit 196.
— internationales, die Einheit 209.
Amplitude der Sinuskurve 228.
Analogie, elektrische hydraulische 189, 210.
Anionen 252.
Anker, Magnet- 149.
Ankerkern 261.
Anode 251.
Antrieb der Kraft 82, 304.
Anziehung eines Stromleiters auf nahegelegene Stoffe 162.
— elektrischer Leiter, gegenseitige 161.
— zwischen Elektrizitätsmengen 94, 129.
— — Magnetpolen 135, 136.
— — materiellen Körpern 93.
Anziehungsenergie, Massen- 71.
Anziehungserscheinung 93.
Anziehungskraft 97.
Äquator, Magnet- 136.
Äquipolarer magnetischer Querschnitt 142.
Äquivalent, chemisches 255, 256.
— elektrochemisches 255.
Äquivalentgewicht 255, 256.
Äquivalentwärme 258.
Arago, Dominique François 160, 170.
Arbeit, elektrische 214, 316.
— mechanische 65, 303.
— physikalische, chemische und physiologische 65.
— verschiedene Arten von 65.
Arbeitsleistungsfähigkeit 69.
Äther 62.
Ätherion 62.
Atmosphäre 102.
Atome 58.
Atomgewicht 256.
— der Stoffe und magnetische Aufnahmefähigkeit desselben 164.
Attraktionsenergie 71.
Attraktionserscheinungen 93.
Attraktionssphäre 96.
Auer von Welsbach 121.
Aufnahmefähigkeit, elektrische 175.
— elektrodynamische 223, 296, 319.
— elektrostatische 133, 296.
— magnetische 162, 266.
— — spezifische 266, 326.
— Reihenfolge der magnetischen und der kalorischen 164.
Auflösung eines Körpers 117, 255.
Ausdehnung der Körper durch mechanische Kraft 89.
— — — — Wärme 90, 115.

Ausdehnung, Flächen- 116.
— Längen- 115.
— Raum- 116.
— und Zusammenziehung, Kraftäußerung bei der 116.
Ausdehnungskoeffizient 88, 89, 115.
Ausscheidung, elektrolytische 253.
Ausziehung, elektrolytische 253.

Bad, elektrolytisches 251.
Barosphäre 56, 96, 97, 106.
Beanspruchung, dauernd zulässige 86.
Bedingungen der magnetoelektrischen Induktion 176, 179.
Beharrungsvermögen 74, 155, 218.
Beleuchtungsstärke 127, 129.
Belichtung 128, 129.
Benennung der Maßeinheiten 2, 366, 369.
— — physikalischen Größen 2, 9.
Berechnung magnetischer Kreise 270, 279, 326, 349.
Berzelius, Joh. Jacob 253.
Beschleunigung 46.
— infolge der Schwerkraft 47.
Bestimmungsgleichungen 33, 280, 328.
Bewegung, gleichförmige (konstante) 45.
— ungleichförmige 45.
Bewegungsgröße 82, 304.
Bewegungsrichtung, angenommene, der Elektrizität 159.
— — des Magnetismus 141, 156.
Bezeichnung, algebraische, der Basis der natürlichen Logarithmen 5.
— — der Koeffizienten 3, 4, 377.
— — der physikalischen Größen 2, 9, 280, 299, 328, 346, 350, 372.
— — des Gesuchten bei gewöhnlichen Rechenaufgaben 5.
— — von Anzahl konkreter Gegenstände 5.
— — von Wirkungsgrad 5.
Bezeichnungsbuchstaben bei verschiedenen Maßsystemen 27, 299, 346.
Biegungselastizität 85.
Biegungsfestigkeit 85.
Biegungsmoment, äußeres 83.
— inneres 92.
Biot, Jean Baptiste 195.
Biot-Savartsches Gesetz 195.
Bogenmaß 43, 226.
Bosanquet, R. H. M. 275.
Breite 42.
Brennstoff 119.
Bruchgrenze 86.
Bruchkoeffizienten 86.
Bruchsicherheit 87.
Brugmans 164.

Carcel-Lampe 125.
Cardew, Philip 232.
Celsius, Anders 28, 109.
Celsius-Grad 109.
— -Skala 110.
C. G. S.-Maßsystem 31, 37, 280.
— dessen Grundlage und Grundsätze 37.
Chemie, Elektro- 251.
Chemische Verbindungen, elektromotorische Kraft bei der Entstehung der 258.
Chemoelektrischer Vorgang 257.
C. K. S.-Maßsystem 31, 346, 350, 361.
Coulomb, Charles Augustin de 94, 129, 222.
Coulomb, die Einheit 222.
Coulombsches Gesetz 94, 129, 136.
Clark, Latimer 209.

Dampfenergie 73.
Daniell 259.
Davy, Sir Humphry 170.
Definition, sprachliche und algebraische, der physikalischen Größen 37.
Definitionsgleichung 33, 280, 328.
Deformierung des magnetischen Feldes 167.
Dehnung 89.
Dekadisches Verhältnis der Einheitsgrößen 28, 363.
Dezimalverhältnis der Einheitsgrößen 363.
Diamagnetische Stoffe 164.
Diameter 43.
Dichte, elektrodynamische 224, 319.
— magnetische 141, 196, 312, 325, 348.
— — innerhalb eines Solenoids 169.
— relative 55.
— (Dichtigkeit), Stoff- 55.
Dicke 42.
Dielektrikum 133.
Dielektrizitätskoeffizient 133, 223.
Dimension, physikalische, der Maßeinheiten 29, 32, 33, 288, 328, 350, 362.

Dimensionen, die Ermittelung der 33, 34.
Dimensionsausdrücke 32, 33.
— Zifferfaktoren in den 33, 34.
— der C. G. S.-Maßeinheiten 288.
— — C. K. S.-Maßeinheiten 350.
— — D. K. S.-Maßeinheiten 328.
— einiger Maßeinheiten verschiedener denkbarer Maßsysteme 362.
— Nutzen der 32, 35.
— weniger geeignete Kürzung der 34.
D.K.S.-Maßsystem 31, 299, 328, 361.
Draper, John William 120.
Drehachse 46.
Drehfeld 248.
Drehmoment, magnetisches 138.
Drehstrom 248.
Drehstrommaschinen 248.
Drehungselastizität 85.
Drehungsfestigkeit 85.
Drehungsmoment, äußeres 83.
— inneres 92.
Druck, elektrischer 174, 208.
— mechanischer 63, 82.
— — spezifischer 83, 307.
— optischer 124.
Druckelastizität 85.
Druckfestigkeit 85.
Druckmesser 212.
Dünen, die Ursache der 103.
Dyn, die Einheit 41, 64, 298, 366.
Dynamische Elektrizität 173, 174, 201.
Dynamischer Zustand 59.
Dynamomaschine 216.

Effekt, akustischer 16, 287.
— elektrischer 215, 317.
— kalorischer 249, 285.
— magnetischer 288.
— mechanischer 68.
— optischer 124, 286.
— — spezifischer 124, 286.
Effektive elektrische Leistung 233.
Effektivwert der elektromotorischen Kraft 231.
— — Stromstärke 231.
Effektloser Strom 236.
Eigenwärme der Erde 102.
Einheit der Lichtstärke 102.
Einheiten, abgeleitete Maß- 32.
— fundamentale 30.
Einheiten, fundamentale physikalische Zusammensetzung der Maß- 29, 32, 328, 362.
— Grund- 30.
— physikalische Dimensionen der Maß- 29, 32, 33, 288, 328, 350, 362.
Einheitsdimension 33.
Einheitsgrößen, dekadisches Verhältnis der 28, 363.
— Dezimalverhältnis der 363.
Einheitskerze 125.
Einheitslinie, magnetische 144.
Einheitspol 136.
Einheitsröhre, magnetische 144.
Eisenfeilspanfäden, magnetische 140, 156, 161.
Elastischer Körper 88.
Elastizität 84.
— spezifische 88.
— Zug-, Druck-, Biegungs- und Drehungs- 85.
Elastizitätsgrenze 84.
Elastizitätskraft 84.
Elastizitätsmodulus 90.
Elektrische Leit(ungs)fähigkeit 175, 207.
— Magnetisierung 264.
— Polarität 177.
— Serie 175.
— Stromstärke 194, 313.
Elektrischer Leitungswiderstand 201.
— Strom 149, 153, 174, 201.
— Stromkreis 201, 210, 274.
Elektrizität, die angenommene Bewegungsrichtung der 159.
— dynamische 173, 174, 201.
— Erzeugung von 203.
— statische 173.
Elektrizitätsmenge, dynamische 222, 231, 296, 319.
— statische 130, 296.
Elektrizitätsquelle 257.
— Richtung des erzeugten Stromes 159, 261, 262.
Elektrizitätsstärke 203.
Elektrochemie 251, 320.
Elektrochemische Serie von Berzelius 253.
Elektrochemischer Vorgang 256.
Elektrode 251.
Elektrodynamische Größen 4, 19, 153, 313, 348.
Elektrodynamometer 232.

Elektrogenerator 216.
— Stromrichtung beim 177.
Elektrolyse 251.
Elektrolyt 224, 251.
Elektromagnet 166, 170, 260.
— Mantel- 172.
— metallisch geschlossener 168.
Elektromagnete, Grundtypus der 171.
Elektromagnetform, ökonomische 168.
Elektromagnetische Größen 4, 25, 260, 320, 349.
Elektromagnetstahl 260.
Elektrometallurgie 254.
Elektromotor 216.
— Bewegungsrichtung beim 177.
Elektromotorische Extrakraft 217, 218.
— Gegenkraft 257.
— Kraft 174, 197, 313, 348.
— — bei der Entstehung chemischer Verbindungen 258, 259.
— — der gegenseitigen Induktion 299.
— — der Kapazität 244.
— — der Polarisation 257.
— — der Selbstinduktion 219, 237.
— — Effektivwert der 231.
— — Maximalwert der 225, 228.
— — Mittelwert der 231.
— — Momentanwert der 219, 230, 234, 237.
— — Nullwert der 225, 230.
— — scheinbarer Wert der 233.
— — Scheitelwert der 228.
— — zurückwirkende 218, 244.
— Nutzkraft 237.
— Reaktionskraft 244.
— Ursprungskraft 237.
Elektronegativ 252.
— Bestandteile des Elektrolyts 252.
Elektropositiv 252.
— Bestandteile des Elektrolyts 252.
Elektrostatische Größen 4, 16, 129, 305, 347.
Elektrosphäre 131.
Element, chemisches 53.
— galvanisches 159, 255, 259.
— — seine Polarität 159.
— — von Daniell 259.
— Normal-, von Clark 209.
E. M. K. oder EMK. 201.
Energie, akustische 16, 287.
— animalische 70.
— Attraktions- 71.
Energie, chemische 70, 256, 260.
— Dampf- 73.
— der Bewegung 72, 79.
— der Grundsatz von der Erhaltung 74, 199.
— der Lage 72, 79.
— des Zustandes 72.
— Dichte (bezw. Intensität) der 96.
— die Menge von, im Weltall 70.
— Elastizitäts- 75.
— elektrische 214, 316.
— Feder- 75.
— Fortpflanzung der 66, 96.
— freie und gebundene (latente) 71.
— kalorische oder thermische 100, 107.
— kinetische 72, 74, 80, 155, 174.
— — elektrische 174.
— — magnetische 155.
— — mechanische 72, 80, 304.
— magnetische 17, 139, 154, 288.
— Massenanziehungs- 71.
— mechanische 70, 303.
— Muskel- 70.
— nützliche 74.
— optische 101, 127, 286.
— potentielle 72, 74, 80.
— — elektrische 174.
— — magnetische 154, 172.
— — mechanische 72, 80, 304.
— physikalische, chemische und physiologische 70.
— verschiedene Formen von 70.
— Weltall- 70.
Energiequelle, punktförmige oder sphärische 96.
Energiesphäre 96.
Energieumsetzung bei der Zerlegung und Entstehung chemischer Verbindungen 255.
Energieumwandlung bei elektrolytischen Vorgängen 255.
Energiezentrum 96, 131.
Energie und Kraft, gleichzeitiges Vorhandensein von 70.
— — Verwechslung von 72.
Entzündungstemperatur 120.
Erdbeben 103.
Erde, Eigenwärme der 102.
— magnetische Polarität der 156.
Erdmeridianquadrant 28.
Erg, die Einheit 68, 366.
Erhaltung der Energie, Grundsatz von der 74, 199.

Erhaltung des Stoffes, Grundsatz von der 119.
Erkennungszeichen für Maßsysteme 27, 299, 346.
Erregung, elektrische 264, 325.
Erwärmung der elektrischen Leiter 249, 250.
— der Körper 110.
Extrakraft, elektromotorische 217, 218.
Extrastrom 155, 217.

Fahrenheit, Gabriel Daniel 110.
Fallarbeit 79.
Fallbeschleunigung 47.
Farad, die Einheit 224.
Faraday, Michael 164, 173, 224, 253, 255.
Farben, elektrolytische Herstellung von 254.
— Glüh- 119.
— kalorische 119.
— optische 120.
— Temperatur 119.
Färbung, elektrolytische 254.
Federenergie 75.
Federkraft 59.
Federwage 38, 56.
Feld, aëromagnetisches 139.
— hydromagnetisches 139.
— magnetisches 139, 168.
— — des Solenoids 161, 169.
— — eines Elektrizität führenden Leiters 153, 154.
— metallomagnetisches 139.
— sichtbare Darstellung mittels Eisenfeilspäne 141, 161.
Feldstärke 142, 262.
— Flächen- 144, 148.
— gesamte 144.
— magnetische 142, 147, 262.
— Punkt- 142.
— punktuelle magnetische 142, 147, 148.
— superficielle magnetische 144, 147, 148.
Festigkeit 84.
— Zug-, Druck-, Biegungs-, Drehungs-, Schub- und Knick- 85.
— relative 87.
Festigkeitskoeffizienten 86.
Festigkeitsmoduli 86.
Fläche 42.
Fläche gleichen Potentials 100.
Flächenfeldstärke 144, 148.
Flammen, Licht- 121.
Fleming, John Ambrose 179.
Flora und Fauna 101.
Fluorescenz 121.
Flüssigkeit 118.
Flußröhre, magnetische 144.
Forbes, Georg 272.
Formbeständigkeitsgrenze 86.
Formbeständigkeitskoeffizienten 86.
Formbeständigkeitssicherheit 87.
Formeln 29.
Fortpflanzung von Elektrizität 96, 130, 153.
— — Energie 96.
— — Licht 96, 124.
— — Magnetismus 96, 143, 154.
— — mechanischer Energie 66.
— — Schall 96.
— — Wärme 96, 153.
Frequenz eines Wechselstromes 228.

Galvani, Luigi 159.
Galvanisches Element 159, 255, 259.
Galvanoplastik 254.
Galvanostegie 254.
Gasflamme 121.
Gauß, die Einheit 142, 143, 149, 366.
Gauß, Karl Friedrich 30, 143, 366.
Gegenkraft 59.
Gegenseitige Induktion 217, 222, 318.
Geologische Bauarbeit 103.
Geometrische Größen 3, 9, 42, 300, 346.
Geschlossener elektrischer Stromkreis 173.
Geschwindigkeit 45.
— Achsenumdrehungs- 46.
— gleichförmige und ungleichförmige (veränderliche) 45.
— Rotations- 45.
— Winkel- 46.
Geschwindigkeitsabnahme 46.
Geschwindigkeitsänderung 46.
Geschwindigkeitszunahme 46.
Gewicht 48, 300.
— als dynamische Funktion 37, 48, 50.
— die Lehre von dessen Veränderlichkeit mit dem Orte 37, 48.
— das, eines Körpers ist an jedem Orte gleich 38, 50, 300.

Gewicht, relatives 51.
— spezifisches 50.
Gewichtsbegriff, philosophische Definition vom 37, 48, 50.
Gewichtsmaß 49.
Gewichtsstück 49.
Gewicht und Schwere nicht dasselbe 38, 49.
Gilbert, die Einheit 277, 278, 366.
Gilbert, William 136, 156, 277, 366.
Gleichgewicht mechanischer Kräfte 63.
— elektrisches-magnetisches 217, 219.
Gleichstrom, pulsierender 185, 186.
Gleichungen 29.
— Bestimmungs- oder Definitions- 33, 280, 328.
Gletscher 103.
Glühen 120.
Glühender Körper 121.
Glühfarben 119.
Glühtemperatur 120, 121.
— Anfangs- 120.
Gradmaß 43.
Grammkalorie 108.
Grammmasse 37, 64.
Gravitation 93.
Gravitationsgesetz von Newton 93.
— -grenze 97.
— -koeffizient 93, 94.
— -konstante 93.
— -kraft 93, 97.
— -zentrum 98.
Größen, akustische 4, 16, 287.
— algebraische Bezeichnung der 2, 9, 280, 299, 328, 346, 350, 372.
— Benennung der physikalischen 2, 9.
— Bestimmungs- oder Definitionsgleichungen der technophysikalischen 280, 328, 350.
— chemische 4, 25.
— Definition der 37.
— elektrodynamische 4, 19, 153, 313, 348.
— elektromagnetische 4, 25, 260, 320, 349.
— elektrostatische 4, 16, 129, 305, 347.
— geometrische 3, 9, 42, 300, 346.
— Gruppierung der 1.
Größen, kalorische oder thermische 3, 14, 100, 305, 347.
— magnetische 4, 17, 135, 305, 347.
— mechanische 3, 10, 44, 300, 346.
— Nomenklatur der 2, 9.
— optische 4, 15, 119, 305, 347.
— Zusammenstellung der 2, 9.
— tabellarische Zusammenstellung der technophysikalischen 280, 328, 350.
Grundeinheiten 30.
Grundmaße 30.
Grundsatz von der Erhaltung der Energie 74, 199.
— von der Erhaltung des Stoffes 119.
Grundstoffe, chemische 53.
Güteverhältnis 74, 216.

Harmonische Funktionen 226.
Haupt(schluß)leitung 210.
Heaviside, Oliver 278.
Heben und Senken von Lasten 67, 79.
Hefner-Alteneck, Jacob Heinrich von 125.
Hefner-Lampe 125.
Heizwert 119.
Helligkeit leuchtender Flächen 123.
Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand 74.
Henry, die Einheit 221.
Henry, Joseph 221.
Hilfseinheiten 28, 365.
— Präfixen für 365.
Hirn, Gustav Adolph 108.
Höhe 42.
Hopkinson, John und Edward 267, 270, 275, 279.
Hubarbeit 79.
Hubhöhe 68, 79.
Hydraulische und elektrische Stromkreise, Analogie 189, 210.

Impedanz 242.
Imponderable Mengen 53, 93.
Imponderabilien 53.
Impuls, elektrischer 221, 231.
— mechanischer 82.
Inäquipolarer magnetischer Querschnitt 142.
Induktanz 242, 245.
Induktion 153, 268.

Induktion, Bedingungen der magnetoelektrischen 176, 179.
— bildliche Veranschaulichung der elektromagnetischen 189.
— bildliche Veranschaulichung der magnetoelektrischen 193.
— elektroelektrische 130.
— gegenseitige 217, 222, 318.
— elektromagnetische 153.
— Koeffizient der gegenseitigen 222.
— magnetoelektrische 153, 173.
— magnetomagnetische 140, 172.
— Selbst- 217.
— verschiedene Anordnungen bei der, von elektromotorischer Kraft 173—189.
Induktionskurven 140.
Induktiver Widerstand 24, 25, 242.
Induktives Reaktionsvermögen 154.
Inelastizität 90.
Intensität, magnetische 139, 263.
Internationale elektrische Maßeinheiten 209.
Ionen 252.
Irisierung 254.
Isolatoren 175.

Joch 261.
Jochring 261.
Joule, die Einheit 214.
Joule, James Prescot 108, 214.

Kalorie, die Einheit 108.
— Gramm- 108.
— kleine 108.
— Milli- 108.
Kalorische Größen 3, 14, 100, 305, 347.
Kalt, der Begriff von 107.
Kälte des Weltraumes, Einfluß der 101, 104.
Kant, Emmanuel 101.
Kapazitanz 245.
Kapazität, elektrodynamische 223, 319.
— elektrostatische 133.
— in Wechselstromkreisen 225.
— magnetische 266.
— Wärme- 111.
Kapazitäts-Widerstand 245.
Kapp, Gisbert 275, 279.
Kathode 252.
Kationen 252.
Kelvin, Lord (früher Sir William Thomson) 207, 268.
Kerze, Einheits- 125.
— Normal- 125.
— Spermazetti- 125.
— Walrat- 125.
Kilodyn 64.
Kinetische Energie 72, 74, 80, 155, 174.
Klemmenspannung 212, 257.
Knickfestigkeit 85.
Kochpunkt 118.
Koeffizienten, algebraische Bezeichnung der 3, 4.
Koeffizientensammlungen, System in den 29.
Kohäsion 60.
Kohäsionskraft 58, 84.
Kondensator 133, 134, 223.
— in Wechselstromkreisen 244.
Korkzieherregel für Polaritätsbestimmung 158.
Körper, der Begriff von 53.
— geometrische oder mathematische 52.
— materieller oder physikalischer 53, 93.
— Natur- 52.
Kraft, Adhäsions- 58.
— akustische 16, 287.
— Anziehungs- 93, 129, 135.
— Attraktions- 93.
— Beharrungs- 75.
— chemische 58, 256.
— Dampf- 75.
— eine, wirkt als Druck oder Zug 63.
— Elastizitäts- 58.
— elektrodynamische 213, 316.
— elektromotorische 197, 313, 348.
— — Induktionsbedingungen für 176, 179.
— elektrostatische 129.
— Feder- 75.
— Gegen- 59.
— Gravitations- 71, 93.
— kalorische (thermische) 100, 116.
— Kohäsions- 58.
— lebendige 72.
— magnetische 135, 310.
— (magnetisierende, magnetische) 268.
— magnetomotorische 276.
— mechanische 58, 59, 301.

Kraft, Muskel- 58.
— optische 286.
— philosophische Definition der 64, 298.
— Schwer- 57, 301.
— Trägheits- 75.
— Zentrifugal- 81.
— Zentripetal- 81.
— als dynamische Funktion 64.
— und Energie, gleichzeitiges Vorhandensein von 70.
— — — Verwechselung von 72.
— und Stoff, gleichzeitiges Vorhandensein von 61, 70.
Kraftäußerung bei der Ausdehnung und Zusammenziehung der Körper 116.
Kräfte, Bestehen der 61.
— dynamisch wirkende 59, 72.
— Einteilung der 58.
— kalorische, ihre Rolle in der Natur 100—107.
— physikalische, chemische und physiologische 58.
— statisch wirkende 59, 72.
— treibende 63.
— Wechselwirkung der 61.
— widerstehende 63.
Kraftfeld, magnetisches 139.
Kraftfluß, magnetischer 148, 262.
Kraftlinie, magnetische 139, 140, 142.
Kraftlinien, Gesamtzahl der 144.
Kraftlinienbündel 144.
Kraftlinienstrom 262.
Kraftmoment 83.
— biegendes 83.
— drehendes 83.
Kraftröhre, magnetische 144.
Kraftwirkung bei einem elektrischen Leiter im magnetischen Felde 197.
Kraftzentrum 95, 131.
Kreis, magnetischer 139, 141, 142, 261, 270.
— — metallisch geschlossener 149, 270.
Kreise, Berechnung magnetischer 270, 279.
— Vergleich magnetischer und elektrischer 274.
Kreisbogen 43.
Kreisdurchmesser 43.
Kreishalbmesser 42.
Kreisumfang 43.
Kurven, Magnetisierungs- 267, 269.
— Sinus- 226.
— — Amplitude der 228.

Ladung, elektrische 130, 133, 174, 201, 223, 225.
Länge 42.
Längenänderung, spezifische 88, 89.
Laplace, Pierre Simon 101.
Last 41, 67, 79, 303.
Laut 96.
Lava 106.
Lavoisier, Antoine Laurent 119.
Lebendige Kraft 72.
Leistung, elektrische 215, 317.
— — effektive 233.
— — scheinbar effektive 233.
— mechanische 68, 303.
Leistungsfaktor 237.
Leistungskoeffizient 237.
Leiter, Bewegung vom, im magnetischen Felde 226.
— elektrischer 153, 174.
— — Einstellung 162.
— — erster Klasse 224.
— — zweiter Klasse 224, 251.
Leitung, elektrische 173.
— magnetische 276.
Leit(ungs)fähigkeit, elektrische 175, 207, 305.
— — relative 207, 305.
— — spezifische 207, 305.
— magnetische 162, 279.
— — spezifische 277, 279.
Leitungswiderstand, elektrischer 175, 201, 314.
— — relativer 206, 315.
— — spezifischer 204, 206, 315.
— magnetischer 278.
— — spezifischer 278.
Leuchten einer Flamme 121.
Leuchtender Körper 121.
Leuchtstärke 122, 123.
Leuchtvermögen der Körper 122.
Licht, allgemeines über das 119—124.
— aussendende Körper 101, 121.
Lichtdichte 127.
Lichteinheit 124.
Lichtentwickelung 121.
Lichterscheinung 120.
Lichtmaß 124.
Lichtmenge 128, 129.
— spezifische 128.

Lichtquelle 122.
— **Ökonomie** einer 122.
— **sphärische** 124.
Lichtquelle, Wirkungsgrad einer 124.
Lichtstärke 123, 124.
— **hemisphärische** 125.
Lichtstrom 126.
Lithosphäre 101.
Lösungen 251, 255.
Luft, Magnetisierung der 162, 163.
Luftraum eines Magnets 142.
Luftwiderstand 77.
Lumen, die Einheit 129.
Lux, die Einheit 129.

Magma 104.
Magnet, geschlossener 149, 168.
— nonpolarer 270.
— Ring- 270.
Magnetanker 149.
Magnete, natürliche 164.
— permanente 172.
Magneterregung 264.
Magnetische Aufnahmefähigkeit 162, 266.
— — der Stoffe und die Atomgewichte derselben 164.
— Dichte 148, 264.
— Fäden 140.
— Feldstärke 142, 262.
— — und magnetische Kraft sind nicht physikalisch gleich 146.
— Größen 4, 17, 135, 305, 347.
— Intensität 139, 263.
— — spezifische 263.
— Kraft 268, 310.
— Kraft und magnetische Feldstärke sind nicht physikalisch gleich 146, 268.
— Kraftlinien 139, 140, 142.
— Kreise, deren Berechnung 270, 279.
— Leit(ungs)fähigkeit 163.
— Isolier(ungs)fähigkeit 165.
— Serie 163.
— Streuung 270.
— Stromstärke 148, 276.
— Trägheit 155.
— Tragkraft 149, 306, 312.
— und kalorische Eigenschaften der Stoffe 164.
— Wirkungen eines elektrischen Leiters 153.
Magnetischer Kraftfluß 148, 262.
Magnetischer Kreis 139, 141, 142, 261, 274.
— — materieller 142, 261.
— Querschnitt 139, 142.
— Strom 155, 276.
— Stromkreis 261, 274, 276.
Magnetisches Feld 139, 168.
— Moment 138, 263.
— — spezifisches 263.
Magnetisierende Kraft 268.
— Spule 262.
Magnetisierung, elektrische 264, 325.
— — spezifische 265, 325.
Magnetisierungskurven 267, 269.
Magnetisierungsleiter 169.
Magnetisierungsspule 170, 260.
Magnetisierungswindungen 169.
Magnetismus, Ausbreitung des 140, 150.
— die angenommene Bewegungsrichtung des 156.
— die Konzentrierung des, um einen Elektrizität führenden Leiter 154.
— kreisförmige Bewegung des, rings um einen Elektrizität führenden Leiter 155.
— radiale Ausdehnung des, um einen Elektrizität führenden Leiter 154, 262,
— radiale Bewegung des, um einen Elektrizität führenden Leiter 155, 262.
Magnetismusfeld 139.
Magnetismusfigur 142, 182.
Magnetismuskegel 144.
Magnetismuskreis 142, 149.
Magnetismusquelle 261, 262.
Magnetismusröhre 144.
Magnetismusstärke 148, 262, 311, 321, 347.
— spezifische 148, 264, 312, 325 348.
Magnetismusstrom 262.
Magnetismusträger 142, 262.
Magnetjoch 261.
Magnetkern 170, 260.
Magnetkernverbindung 261.
Magnetkranz 261.
Magnetnadel, Einstellung der, in den magnetischen Meridian 156.
— Einstellung im magnetischen Felde 160, 166.
Magnetomotorische Kraft 276.

Magnetomotorische Kraft, spezifische 277.
Magnetosphäre 137, 143.
Magnetpol 136, 141, 156.
— negativer 141, 156.
— positiver 141, 156.
— punktförmiger oder mathematischer 143, 147.
Magnetpole, freie 168.
Magnetspule 170, 260.
Masse 53, 300, 303.
— Normal- 39, 41.
— spezifische 55.
Massen, Bewegung von 66.
Massenmoment 81, 304.
Maße, Grund- 30.
Maßeinheiten, abgeleitete 32.
— akustischer Größen 287.
— Benennung der 2, 366, 369.
— — — auf linguistischer Grundlage 369.
— der Wechselstromgrößen 248.
— elektrodynamischer Größen 153, 313, 348.
— elektromagnetischer Größen 260, 349.
— elektrostatischer Größen 129, 305, 347.
— für die Messung technophysikalischer Größen 28.
— gegenwärtige Benennung der 366.
— geometrischer Größen 42, 300, 346.
— kalorischer Größen 100.
— kommerzielle oder gewerbliche 28, 209.
— magnetischer Größen 135, 300, 347.
— mechanischer Größen 44, 300, 346.
— Nomenklatur der 2, 366.
— optischer Größen 119, 305, 347.
— praktische 204, 297.
— Vergleich einiger verschiedener denkbarer Maßsysteme 362.
Maßsystem, das **C. G. S.**- 37, 280.
— — **C. K. S.**- 31, 346, 350, 361.
— — **D. K. S.**- 31, 299, 328, 361.
— Gravitations- 64.
— irdisches 64.
— konventionelles 64.
— philosophisches physikalisches 31, 37.
Maßsystem, philosophisch wissenschaftliches 31, 37.
— technisch wissenschaftliches 31.
— technophysikalisches 31, 297.
— — Grundmaße dafür 298.
— — Grundsätze dafür 297.
Maßsysteme, absolute 32.
— allgemeine 28.
— Bedürfnis physikalischer 29, 35.
— der Hauptzweck physikalischer 35, 36.
— elektrostatische und elektromagnetische 296.
— Erkennungszeichen für die physikalischen 27, 299, 346.
— im allgemeinen 28.
— physikalische 29.
— technophysikalische oder technische 31, 297.
— Vergleich der **D. K. S.**- und **C. K. S.**- 361.
— — einiger verschiedener 362.
— — physikalischer 361.
— verschiedene 30, 362.
— Wahl der 30.
Materialbeanspruchung, spezifische 86.
— zulässige 86.
Materie 52.
Materielle Körper 53, 93.
Maximalwert der elektromotorischen Kraft 225, 228.
— der Stromstärke 225, 228.
Maxwell, Clerk 144, 366.
Maxwell, die Einheit 142, 144, 149, 278, 366.
Mayer, Julius Robert 74.
Mechanische Größen 3, 10, 44, 300, 346.
Meereswogen, die Ursache der 103.
Megadyn 64.
Megerg 69.
Megohmcentimeter 206.
Mehrpolige Dynamomaschinen 228, 261.
Messungen, kommerzielle oder gewerbliche 28, 209.
— im allgemeinen 28.
Meßgeräte, elektrische 209.
Meßinstrumente, elektrische 209.
Meßinstrumente, elektrothermische 232.
— für Wechselstrom 232.
Metallgewinnung, elektrolytische 254.

Metallraffination, elektrolytische 254.
Metallomagnetischer Querschnitt 142.
Metersystem 28, 297, 298.
Mho 207.
Microfarad 224.
Microhmcentimeter 206.
Millikalorie 108.
Mischung, elektrolytische 254.
Mittelwert der elektromotorischen Kraft 231.
— — Stromstärke 231.
M. M. K. oder MMK 277.
Modul, Festigkeits- 86.
Moleküle 58.
Moment, magnetisches 138, 263.
— — spezifisches 139, 263.
Momentanwerte elektrischer Größen 219, 230, 234, 237.
Muskelenergie 70.
Muskelkraft 58.

Namen der technophysikalischen Größen in deutscher, englischer, französischer und schwedischer Sprache 9—26.
Naturkörper 52.
Natur-Magnete 164.
Natur-Wärmequellen 101.
Neben(schluß)leitung 210.
Newton, Isaak 93, 367.
Niederschläge, atmosphärische, ihre Ursache 102.
Niveaufläche 97.
Nomenklatur der Maßeinheiten 2, 366.
— — physikalischen Größen 2, 9 bis 26.
Nordpol eines Magnets 156.
Normalelement von Clark 209.
Normalinstrumente, elektrische 209.
Normalkerze 125.
Normalmasse 39, 41.
Nullpunkt, absoluter, der Temperatur 107.
Nullwert der elektromotorischen Kraft 225, 230.
— — Stromstärke 225, 230.
Nutzeffekt, elektrischer 216.
— mechanischer 217.

Oersted, die Einheit 278, 366.
Örsted, Hans Christian 160, 278, 366.
Ohmcentimeter 206.
Ohm, die Einheit 203.
Ohm, Georg Simon 203.
Ohm, internationales, die Einheit 203, 209.
— legales 204.
Ohmsches Gesetz 201, 208.
Optische Energie 101, 122.
— Größen 4, 15, 119, 305, 347.
Optischer Effekt 124, 286.
Organisches Leben 101, 105.
Oxydation infolge Erhitzung 120.

Paramagnetische Stoffe 164.
Patinierung 254.
Periode, Dauer der 229.
— eines Wechselstromes 228.
Permanente Magnete 172.
Permeabilität 268.
Perpetuum mobile 67.
Petroleumflamme 121.
Pferdeleistung 70.
Pferdestärke (Pferdekraft), englische 69, 216.
— (—) metrische 69, 215.
Phase 225.
Phasenbeschleunigung 225.
Phasenbeschleunigungswinkel 226.
Phasennacheilung 225.
Phasenunterschied 225.
Phasenverschiebung 225.
Phasenverschiebungswinkel 226.
Phasenverzögerung 225.
Phasenverzögerungswinkel 226.
Phasenvoreilung 225.
Phasenwinkel 234.
Phonosphäre 96.
Phosphorescenz 121.
Phot, die Einheit 129.
Photometer 125.
Photometrisch-optischer Wirkungsgrad 123.
Photosphäre 125.
Planeten, Bewegung der 62.
Planetensystem 101.
Pol, Magnet- 136, 141, 156, 261.
Polarisation 257.
— elektromotorische Kraft der 257.
Polarisierte elektrische Ladung 130, 174.
Polarität der Erde 156.
— eines elektrischen Leiters 174.
— elektrische, eines galvanischen Elements 159.
— magnetische 156.
— — der Erde 156.

Polarität, Regeln zur Feststellung der elektrischen 177, 178, 179.
— — — — — magnetischen 157, 158, 159, 170.
— Richtung der magnetischen 156.
— zeichnerische Darstellung der elektrischen und magnetischen 158, 180.
Polaritätswechsel, elektrischer 229.
Pole 261.
— eines elektrischen Leiters 174.
Polfläche 198.
Polklemmen 212, 216, 256.
Polpaar 261.
Polplatten 251.
Polschuhe 260.
Polstärke, magnetische 136, 310, 348.
Polstücke 261.
Polwechsel 229.
Poncelet, die Einheit 69, 216.
Poncelet, Jean Victor 69, 216.
Ponderabile Mengen 53, 93.
Ponderabilien 53.
Potential, elektrostatisches 130.
— magnetisches 137, 163, 276.
— mechanisches 95.
Potentialdifferenz, elektrodynamische 208, 296.
— elektrostatische 132, 296.
— magnetische 137, 276.
— mechanische 99.
Potentielle Energie 72, 74, 80, 212.
Präfixen für Hilfseinheiten 365.
Priestley, Joseph 119.
Pulsierender Gleichstrom 185, 186.
Punktfeldstärke 142, 148.
Pyr, die Einheit 129.
Pyrometer 109.

Quelle, heiße 103.
— — intermittierende 106.
— hydrostatische 103.
Querschnitt, aëromagnetischer 142.
— magnetischer 139, 142.
— — äquipolarer 142.
— — inäquipolarer 142, 181.
— metallomagnetischer 142.
Querschnittsmoment 91.
— äquatoriales 91.
— polares 91.

Rad, die Einheit 129.
Radiant, die Einheit 43, 46, 366.
Radius 42.
Raffination, elektrolytische, von Metallen 254.
Reaktanz 245.
Reaktionsvermögen, induktives 154.
Réaumur, René Antoine 110.
Regeln zur Feststellung der elektrischen Polarität 177, 178, 179.
— zur Feststellung der magnetischen Polarität 157, 158, 159, 170.
Regnault, Henri Victor 111.
Reibung 66.
Reihenfolge der Stoffe in der elektrischen Serie 175.
— der Stoffe in der elektrochemischen Serie 253.
— der Stoffe in der magnetischen Serie 164.
Relativ 51.
Reluktanz 278.
Reluktivität 278.
Retardation 10.
— der Stromstärke 155, 219.
Richtung der Bewegung der Elektrizität 159.
— der Bewegung des Magnetismus 156.
— des elektrischen Stromes 159.
— des magnetischen Stromes 159.
Romagnosi, Giovanni 160.
Rotglut 120.
Rowland, Henry 275, 279.
Rowlandsches Gesetz 275.
Rückwärtsstrom 155, 218, 257.

Savart 195.
Schall 96.
Schalter, Strom- 211.
Schaltung der Leiter, Parallel- oder Nebeneinander- 205.
— der Leiter, Serien- oder Reihen- 205.
Scheele, Karl Wilhelm 119.
Scheinbar effektive elektrische Leistung 233.
Scheinbarer Wert der elektromotorischen Kraft 233, 234.
— — der Stromstärke 233, 234.
Scheitelwert der elektromotorischen Kraft 228.
— der Stromstärke 228.
Schmelze 251.
Schmelzpunkt 117.
Schmelztemperatur 117.

Schmelzwärme 117.
Schnelligkeit 46.
Schubfestigkeit 85.
Schwere 55, 300.
— relative 50.
— und Gewicht ist nicht dasselbe 38, 49.
Schwerkraft 57, 301.
Schwimmregel 157, 178.
Sedimentärbildungen 105.
Selbstinduktion 217, 318.
— in Wechselstromkreisen 225.
Selbstinduktionskoeffizient 220.
Selbstinduktionswiderstand 242.
Selbstleuchtende Körper 101, 119, 124.
Serie, elektrische 175.
— elektrochemische von Berzelius 253.
— magnetische 163.
Siedepunkt 118.
Siemens' Lichtmaß 125.
Siemens, Werner von 125, 203.
Siemens' Widerstandseinheit 203.
Sinoidale Größen 225, 226.
Sinuskurve 226.
Solenoid 161, 263.
— das magnetische Feld von einem 169, 263.
— das magnetische Moment von einem 263.
— wirkt wie ein Magnet 161, 262, 263.
Sonne als Lichtquelle 101, 124.
— als Wärmequelle 101.
Sonnensystem 101.
Spannung, elektrische 174, 208.
— elektrodynamische 208, 316.
— mechanische 82.
— — spezifische 83, 85.
Spannungsmesser 212.
Spermazettikerze 125.
Spezifisch 51.
Sphäre, Atmo- 102.
— Baro- 56.
— Elektro- 131.
— Energie- 96.
— Magneto- 137, 143.
— Phono- 96.
— Photo- 125.
— Thermo- 101.
Statische Elektrizität 173.
Statischer Zustand 59.
Stearinflamme 121.
Steighöhe 76.
Steradiant, die Einheit 44, 366.
Stoff 52.
— die Menge von, im Weltall 53.
— und Kraft, gleichzeitiges Vorhandensein von 61, 70.
Stoffumwandlung 53.
Streuung, magnetische 270.
Streuungskoeffizient 270, 271.
Strom, elektrischer 149, 153, 174, 201.
— magnetischer 155, 175, 276.
Stromkreis, elektrischer 174, 201, 210, 212, 261.
— — primärer 184.
— elektrischer, sekundärer 184.
— magnetischer 261, 274, 276.
Strommesser 211.
Stromphase und Phase der elektromotorischen Kraft 228.
Stromquelle, magnetoelektrische 174.
Stromrichtung im elektrischen Kreise 159.
— Regeln zur Feststellung der elektrischen 177, 178, 179.
— Regeln zur Feststellung der magnetischen 157, 158, 159, 170.
— zeichnerische Darstellung der 158, 180.
— bei Elektrogeneratoren 177.
Stromschalter 211.
Stromstärke, elektrische 194, 313.
— elektrostatische 135.
— Effektivwert der elektrischen 231.
— hydraulische 210.
— magnetische 148, 275, 276.
— Maximalwert der elektrischen 225, 228.
— Mittelwert der elektrischen 231.
— Momentanwert der elektrischen 219, 230, 234.
— Nullwert der elektrischen 225, 230.
— scheinbarer Wert der elektrischen 233, 234.
— Scheitelwert der elektrischen 228.
— Verspätung der elektrischen 155, 218.
— Verzögerung der elektrischen 218.
Substanz 52.
Südpol eines Magnets 156.
Susceptibilität 268.

Tabelle der Bezeichnungsbuchstaben 7, 8. (I).
— — C. G. S.-Gleichungen und C. G. S.-Einheitsdimensionen 280. (IV).
— — C. K. S.-Gleichungen und C. K. S.-Einheitsdimensionen 350. (VII).
— — D. K. S.-Gleichungen und D. K. S.-Einheitsdimensionen 328. (VI).
— — elektromotorischen Kraft einiger chemischer Verbindungen 259. (III).
— — vorgeschlagenen und im Buche benutzten algebraischen Bezeichnungen 372 (XI).
— — Namen und der algebraischen Bezeichnungen d. physikalischen Größen 9—26. (II).
— einfacher Silben zur Bildung eventueller Einheitsnamen 371. (X).
— eventueller Einheitsnamen auf linguistischer Grundlage 369. (IX).
— über den Vergleich einiger Einheitsdimensionen verschiedener Maßsysteme 362. (VIII).
— über den Vergleich der Einheitsdimensionen v. elektrostatischen und elektrodynamischen Größen 295. (V).
Technophysikalische Größen, der Begriff 1.
Temperatur 109.
— die angeblich höchste 107.
— — — niedrigste 107.
— der Erde 107.
— — Sonne 107.
— Entzündungs- 120.
— Glüh- 120, 121.
— Schmelz- 117.
— Verbrennungs- 120.
— Verdampfungs- 118.
Temperaturfarben 119.
Temperaturmesser 109.
Temperaturzunahme elektrischer Leiter 250, 320.
Thermometer 109, 115.
Thermometerskalen 110.
Thermosphäre 101.
Thompson, Sylvanus P. 158.
Tiefe 42.
Torsionsmoment 83, 92.
Tragfähigkeit von Magneten 149.
Tragfähigkeitskoeffizienten 86.
Tragfähigkeitsgrenze 86.
Trägheit, magnetische 155, 218.
— materieller Körper 74.
Trägheitskraft 75.
Trägheitsmoment der Körper 81.
— — Querschnitte 91.
Tragkraft, magnetische 149, 312.
Transformatoren 189.

Umdrehungen (Touren) 45.
Umdrehungsgeschwindigkeit 46.
Umwandlung von Energie 73.
  chemische in elektrische 257.
  — — kalorische 73, 76, 257.
  elektrische in chemische 73, 256.
  — — kalorische 74, 153.
  — — magnetische 74, 153, 218.
  — — mechanische 74.
  — — optische 74.
  kalorische in mechanische 73, 76.
  kinetische in potentielle 255.
  magnetische in elektrische 154, 155, 218.
  mechanische in elektrische 73, 213.
  — — kalorische 77.
  potentielle in kinetische 76, 155, 255.
Unterbrechung des elektrischen Stromes, Folgen der 155.

Valenz der Atome 256.
Verbindungen, Zerlegung oder Zerteilung chemischer 253.
Verbrennungstemperatur 120.
Verbrennungswärme 119.
Verdampfungstemperatur 118.
Verdampfungswärme 118.
Vergleich elektrischer und hydraulischer Erscheinungen 189, 210.
— elektrischer und hydraulischer Stromkreise 189.
— elektrostatischer und elektrodynamischer Größen 295.
— magnetischer und elektrischer Kreise 274.
Verspätung in der Stärke des elektrischen Stromes 155, 218.
Verzögerung 46.
— in der Stärke des elektrischen Stromes 218.
Violle, Jules 102, 125.

Viollesches Lichtmaß 125.
Volt, die Einheit 201.
— internationales, die Einheit 209.
Volta, Alessandro 201.
Volt-Ampère, die Einheit 215.
Volumen 42.
— spezifisches 52.
Vorgang, chemoelektrischer 257.
— elektrochemischer 256.
Vulkane 103.
— erloschene 105.

Wägung 38.
Walratkerze 125.
Warm, der Begriff von 107.
Wärme aussendende Körper 101.
— freie 109, 117.
— ihre Rolle in der Natur 100—107.
— latente oder gebundene 109, 117, 118.
— spezifische 111.
Wärmeaufnahme bezw. Wärmeabgabe während der Änderung des Aggregatzustandes 117, 118.
— relative 112.
— spezifische 110, 113.
Wärmeaufnahmefähigkeit und magnetische Aufnahmefähigkeit 164.
Wärmeeinheit 108.
Wärmeerzeugung des elektrischen Stromes 153, 249, 319.
Wärmekapazität 111.
Wärmeleit(ungs)vermögen 113.
Wärmemenge 107.
Wärmequellen in der Natur 100 bis 107.
Wärmestrahlungsvermögen 114.
Wärmetheorie, mechanische 33.
Wärmetönung 258.
Wärmewirkungen in der Natur 100 bis 107.
Wasserfälle 103.
Watt, die Einheit 215.
Watt, James 215.
Wattloser Strom 236.
Weber, Wilhelm 30, 232.
Wechselstrom 172, 185, 186.
— dreiphasiger 248.
— einphasiger 248.
— mehrphasiger 248.
— verketteter 248.
Wechselstromkreise 225, 319.
Wechselwirkung der Kräfte 61.
Weißglut 120.
Weltallenergie 70.
Weltraum, Kälte im 100.
Wenström, Jonas 172.
Werden und Vergehen 61.
Widerstand bei verschiedenen Schaltungsweisen 205.
— elektrischer Leitungs- 175, 201, 314.
— — — induktiver 242.
— — — relativer 206, 315.
— — — spezifischer 204, 206, 315.
— — — *Ohmscher* 202.
— — — resultierender 242.
— — — scheinbarer 23, 220, 242, 245.
— — — wirklicher oder metallischer 202, 217, 220, 230, 342.
— elektrostatischer 135.
— Kapazitäts- 245.
— magnetischer Leitungs- 278.
— — — spezifischer 278.
— mechanischer 59, 66.
— Parallel- 205.
— Selbstinduktions- 242.
— Serien- 205.
Widerstandsmaß, internationales 204.
Widerstandsmoment der Querschnitte 91.
— — gegen Biegung 92.
— — gegen Drehung 92.
Wiener, Alfred E. 272.
Winde, die Ursache der 102.
Windung 161, 168.
Winkel, ebener 43.
— räumlicher 44.
Winkelbeschleunigung 47.
Winkelgeschwindigkeit 46.
Winkelmaße 43, 44, 226.
Wirkungen zwischen Magneten und Elektrizität führenden Leitern 194, 213.
Wirkungsgrad 5, 74, 216, 255.
— einer Leucht- bezw. Lichtquelle 124.
— elektrischer 216.
— kommerzieller oder gewerblicher 216.
— mechanischer 216.
— photometrisch optischer 123.
Wolken, die Bewegung der 103.
Wucht 72.
Wurfhöhe 76.

Zahl, unbenannte 35.

Zeichen, besondere, in den Dimensionsausdrücken 35.
Zeit 30, 44.
Zeiteinheit, physikalische 44.
Zelle, chemoelektrische 255.
— elektrochemische oder elektrolytische 251.
Zentrifugalkraft 81.
Zentripetalkraft 81.
Zerlegung, elektrolytische 253.
Zerteilung, elektrolytische 253.
Zifferfaktoren in den Dimensionsausdrücken 33.
Zug 63, 82.
Zugelastizität 85.
Zugfestigkeit 85.
Zusammenpressung durch mechanische Kraft 89.
Zusammensetzung, fundamentale physikalische, der Maßeinheiten 33, 34.
Zusammenziehung durch Abkühlung 116.
Zusammenziehung, Kraftäußerung bei der 116.

Phys 440.16
Die fur Technik und Praxis wichtig
Cabot Science 003439654
3 2044 091 955 724